



MÁSTER OFICIAL EN EMPRESAS Y TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

CURSO ACADÉMICO

2018 / 2019

TRABAJO FIN DE MÁSTER

TÍTULO:

Evaluación de tecnologías y servicios IoT orientados a las ciudades inteligentes

Evaluation of IoT technologies and services for smart cities

AUTOR:

Jorge Gómez Seguro

DIRECTOR:

Jorge Lanza Calderón

Octubre 2019

RESUMEN

El uso de las tecnologías de la información en las ciudades inteligentes, está evolucionando hacia la prestación de servicios para el ciudadano que resuelvan las necesidades y los problemas que se plantean dentro de las mismas. Saber gestionar los datos obtenidos por los sensores desplegados, será la diferencia entre una buena gobernanza de la ciudad inteligente. Para la elaboración de nuevas aplicaciones donde se pueda compartir la información de manera válida entre cualquier ciudad del mundo, es indispensable la implantación de una serie de estándares y normas que se apliquen en el desarrollo de las mismas.

Los dispositivos conectados a través de tecnología inalámbrica suponen una inversión importante por parte de las administraciones públicas, por eso, es necesario que estas redes sean cada vez más efectivas y duraderas adecuándose a las futuras prestaciones.

Con la elaboración de este trabajo, se observa como a través de dos tecnologías distintas para el desarrollo de una aplicación se pueden obtener resultados parecidos generando una posibilidad de servicio aplicado a las ciudades inteligentes.

ABSTRACT

The use of information technologies in smart cities is evolving towards the provision of services for citizens that solve the needs and problems that arise within them. Knowing how to manage the data obtained by the sensors deployed will be the difference between good governance of the smart city. For the development of new applications where the information can be shared in a valid way between any city in the world, it is essential to implement a series of standards and norms that are applied in their development.

Devices connected through wireless technology represent a significant investment by public administrations, therefore, it is necessary that these networks be increasingly effective and durable, adapting to future benefits.

With the elaboration of this work, it is observed that through two different technologies for the development of an application similar results can be obtained generating a possibility of service applied to smart cities.

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	4
1.1	OBJETIVOS	4
1.2	ESTRUCTURA	5
2	ESTADO DEL ARTE	6
2.1	CONCEPTO DE CIUDAD INTELIGENTE.....	6
2.2	EVOLUCIÓN DE LAS CIUDADES INTELIGENTES	7
2.2.1	Generación 1.0 (2009-2012).....	7
2.2.2	Generación 2.0 (2012-2015).....	7
2.2.3	Generación 3.0 (2015-En adelante).....	7
2.3	EVALUACIÓN DE LAS CIUDADES INTELIGENTES	8
2.4	MODELO DE NEGOCIO	11
3	REDES DE SENSORES INALÁMBRICAS	21
3.1	SENSORES.....	22
3.2	REDES DE SENSORES.....	23
3.3	TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIÓN EN REDES DE SENSORES	24
4	CASOS PRÁCTICOS	28
4.1	APLICACIÓN IOT MEDIANTE MICROSOFT AZURE.....	28
4.1.1	Hardware.....	29
4.1.2	Software	30
4.1.3	Desarrollo	31
4.2	APLICACIÓN IOT RED LORA.....	38
4.2.1	Hardware.....	39
4.2.2	Software	40
4.2.3	Desarrollo	40
5	CONCLUSIONES	45
5.1	LÍNEAS FUTURAS	46
6	BIBLIOGRAFÍA.....	47

1 INTRODUCCIÓN

Cada ciudad es como una colmena que se ha ido perfeccionando a lo largo de los siglos superando los problemas que han ido surgiendo. Hoy más de la mitad de la población global vive en entornos urbanos y se estima que en las próximas décadas se alcance porcentajes próximos al 70%. El proceso de urbanización es uno de los desafíos más significativos del siglo XXI. La población mundial avanza hacia las ciudades, y mientras, surgen una serie de problemas nuevos que a su vez están influenciados por el proceso de globalización. [Constanza Martínez Gaete. 2013]

Esta tendencia significa un acercamiento de la relación entre la evolución de los hábitos y costumbres generales y las ciudades. Se generan impactos de ámbito local, efectos en la economía y demografía, la división social o impactos en el medio ambiente. A pesar de estos desafíos, las ciudades y más aún sus líderes deben comprender el aspecto positivo que la innovación tecnológica puede llegar a generar. Así se originan nuevas oportunidades para diseñar, construir y operar ciudades más inteligentes, ecológicas e inclusivas.

Las ciudades inteligentes utilizan el poder de la tecnología de las redes de sensores y los sistemas inteligentes de gestión buscando mejorar la calidad de los servicios y proporcionar un mayor bienestar a sus ciudadanos. En este sentido, dotar de inteligencia a las ciudades no sólo se trata de llenarlas de tecnología, hay que convertirlas en lugares seguros, menos contaminantes, más conectados, más eficientes, pero sobre todo mejor gobernadas.

1.1 OBJETIVOS

El propósito principal de este trabajo es dar una visión global del estado del arte actual de las ciudades inteligentes. Es importante comprender la evolución de estas desde sus inicios hasta el estado en que se encuentran en la actualidad, para así poder enfocar los caminos hacia su evolución y consolidación.

Adicionalmente, se busca analizar las infraestructuras que sustentan las ciudades inteligentes. Es por eso por lo que se estudian las arquitecturas de red, las tecnologías y los protocolos de comunicación más comúnmente empleados en los despliegues de entornos de la Internet de las Cosas (IoT, Internet of the Things). Estos sistemas son los que soportarán las diferentes aplicaciones y servicios que ofrecen las ciudades y que ponen a disposición de proveedores de servicios externos y de los propios ciudadanos. En este sentido, se plantea el desarrollo de un conjunto de soluciones IoT empleando

diferentes sensores o elementos embebidos para la captura de datos e interconectar mediante diferentes tecnologías de comunicación a entornos Plataforma como Servicio (PaaS, Platform as a Service) como Microsoft Azure o my Devices Cayenne, donde publicar y compartir los datos adquiridos.

Todo ello se completará con el desarrollo de una pequeña aplicación móvil a través de la cual los usuarios tendrán acceso a todas las mediciones reportadas por los sensores e informes generados de forma automática en la nube.

1.2 ESTRUCTURA

La presente memoria está dividida en cinco capítulos que se organizan de la siguiente manera.

Tras un primer capítulo donde se plantea una introducción al proyecto, en el segundo se introduce el concepto de ciudad inteligente y el estado de su evolución a través de un análisis comparativo de los hechos más relevantes de los últimos años. Además, se describe el modelo de negocio hacia el que se están orientando.

En el tercer capítulo, se hace referencia a los tipos de redes dirigidos a los entornos de IoT. También, se profundiza en las tecnologías que se están implantando para los proyectos del futuro en el sector de las ciudades inteligentes.

En el cuarto capítulo, se describe el despliegue necesario para el desarrollo de dos redes de sensores de distintas tecnologías. La motivación de estos casos prácticos viene dada por la necesidad de adaptar las redes de sensores actuales hacia las nuevas tendencias, ya que las capacidades de funcionamiento en el entorno de una ciudad inteligente requieren de unas prestaciones específicas.

Para finalizar, en el quinto capítulo se recogen las conclusiones obtenidas y las líneas futuras de estudio e investigación que se abren a raíz de este trabajo.

2 ESTADO DEL ARTE

A lo largo de este capítulo se hará un estudio del estado del arte de las ciudades inteligentes. Se define el concepto de Ciudad Inteligente entre las muchas alusiones y distintas maneras de entender la idea que engloba su definición.

Posteriormente, se procede a identificar los factores que afectan a la evolución y desarrollo de las ciudades inteligentes, realizando además una evaluación y análisis comparativo de las más reconocidas a nivel mundial.

Finalmente, para poder estudiar el modelo de negocio que ofrecen las ciudades inteligentes, se expondrán una serie de iniciativas que aprovechan las posibilidades surgidas de la publicación y compartición de la infraestructura tecnológica y los datos recolectados.

2.1 CONCEPTO DE CIUDAD INTELIGENTE

Se puede asegurar que no hay una definición globalmente consensuada de lo que significa una ciudad inteligente (Smart City). Va a depender de quién razone dicho término o en qué aspectos y connotaciones se centre el análisis. Para este trabajo, se tendrá en cuenta la definición propuesta por el grupo técnico de normalización de AENOR, descrito en la agenda digital para el Plan Nacional de Ciudades Inteligentes [Red. 2019]:

“Ciudad Inteligente (Smart City) es la visión holística de una ciudad que aplica las TIC (Tecnologías de la Información y Comunicación) para la mejora de la calidad de vida y la accesibilidad de sus habitantes y asegura un desarrollo sostenible económico, social y ambiental en mejora permanente. Una ciudad inteligente permite a los ciudadanos interactuar con ella de forma multidisciplinar y se adapta en tiempo real a sus necesidades, de forma eficiente en calidad y costes, ofreciendo datos abiertos, soluciones y servicios orientados a los ciudadanos como personas, para resolver los efectos del crecimiento de las ciudades, en ámbitos públicos y privados, a través de la integración innovadora de infraestructuras con sistemas de gestión inteligente.”

No obstante, existe un acuerdo común en la definición de los objetivos principales que persiguen las ciudades inteligentes. Estos son:

- Conseguir una mayor calidad de vida para los ciudadanos.

- Optimizar los recursos existentes para generar ahorro a ciudadanos, empresas y administraciones públicas.
- Alcanzar una gestión eficiente de todas las áreas de una ciudad. Servicios, transportes, educación, sanidad, infraestructuras...etc.

2.2 EVOLUCIÓN DE LAS CIUDADES INTELIGENTES

El concepto de ciudad inteligente ha ido cambiando a lo largo de la última década, de hecho, se pueden diferenciar 3 generaciones.

2.2.1 Generación 1.0 (2009-2012)

En sus inicios era la ciudad transformada por el uso de la tecnología en busca de una mejora en la eficiencia de los servicios. Las empresas multinacionales privadas proveedores de tecnología, desarrollaban soluciones innovadoras que se vendían al sector público. El problema es que las ciudades no estaban realmente preparadas o equipadas para comprender adecuadamente las implicaciones de esas soluciones tecnológicas y cómo podían afectar a la calidad de vida de los ciudadanos.

2.2.2 Generación 2.0 (2012-2015)

En esta fase, las ciudades lideradas por los alcaldes con una visión de futuro toman la iniciativa de escoger qué tipo de tecnologías e innovaciones quieren desplegar y cuáles son requeridas para dotar de inteligencia a las ciudades. De esta manera se buscan soluciones tecnológicas que faciliten la mejora de calidad de vida. Es un periodo donde se buscan licitaciones con varias empresas para la implementación de sensores en diferentes partes de las ciudades.

2.2.3 Generación 3.0 (2015-En adelante)

La tercera generación se denomina de co-creación ciudadana. Se buscan soluciones tecnológicas junto con los emprendedores locales, empresas, universidades y el gobierno municipal. El objetivo principal es la involucración del ciudadano en acciones que mejoren la calidad de vida y así convertir las ciudades para que sean más inteligentes [Boyd Cohen. 2016].

2.3 EVALUACIÓN DE LAS CIUDADES INTELIGENTES

Para ser considerada como inteligente, una ciudad debe reunir una serie de condiciones y requisitos:

- Debe tener un plan estratégico de mercado donde se establezca los propósitos concretos que se van a querer adquirir a lo largo de su proyecto de conversión a un modelo de ciudad inteligente. El capital humano será una pieza clave para el correcto funcionamiento de las ciudades donde los ciudadanos deben contribuir de forma activa. La existencia de un compromiso real con el medio ambiente.
- Se debe llevar a cabo una integración tecnológica de las infraestructuras que permitan controlar los índices de contaminación, gestión de residuos o controlar los sistemas eléctricos entre otros servicios. Para ello se tiene que contar con una tecnología suficientemente avanzada que permita una correcta gestión de la ciudad.
- Se debe disponer de equipo y profesionales motivados con una implicación activa en los proyectos donde se colabore con los ciudadanos a través de diversos canales de comunicación, incluidas las redes sociales y donde el uso de los datos obtenidos sean transparentes.

La capacidad de que tengan las ciudades de dar respuesta a los requisitos anteriores serán claves a la hora de construir una ciudad inteligente exitosa.

Existen numerosos estudios y análisis con comparaciones de cuáles deberían ser las mejores ciudades inteligentes del mundo. Para este trabajo, se ha escogido el ranking elaborado por IESE Cities in Motion Index [IESE Cities. 2019], una institución que intenta medir la evolución de las ciudades inteligentes más allá de la dimensión tecnológica.

Su estudio, analiza un total de 174 ciudades de las cuales 79 son capitales que representan un total de 80 países. Para otorgar las puntuaciones, se basa en 9 dimensiones con multitud de indicadores cada una. Estas dimensiones son las siguientes.

- Capital humano, valora la capacidad de cada ciudad para atraer y retener el talento, los planes para mejorar la educación e impulsar la creatividad y la investigación, etc...

- Cohesión social, nivel de convivencia entre las personas con unas rentas, culturas profesiones o edades diferentes.
- Economía, todos los factores que contribuyen al desarrollo económico de la ciudad.
- Gobernanza, mide la calidad, eficacia y la buena orientación de la intervención del Estado.
- Medio ambiente, como se puede desarrollar la ciudad sin poner en riesgo el entorno a través de indicadores como los niveles de Co2, metano, polución y el acceso de agua potable entre otros.
- Movilidad y transporte, indicadores sobre sistema de transporte público (metro, autobús, tranvía, etc..) conexión aérea, trenes de alta velocidad o servicios de bike sharing, etc...
- Planificación urbana, engloba algunos aspectos presentes y futuros de la regulación urbanística de la ciudad como son la presencia de edificaciones grandes, rascacielos, número de personas por hogar o instituciones sanitarias.
- Proyección internacional, ciudad que aspira a ser un agente de desarrollo económico y social a nivel global.
- Tecnología, que son la espina dorsal de cualquier ciudad que quiera ser calificada de inteligente.

Encontrar el equilibrio correcto entre las diferentes dimensiones es un proceso complejo y permanente. Los líderes urbanos deben adoptar una visión global y a largo plazo para establecer prioridades estratégicas para llevar a cabo las transformaciones necesarias.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que la ciudad perfecta no existe y que el cambio es lento para la mayoría de las ciudades. La colaboración entre las diferentes partes interesadas y la participación del ciudadano han demostrado ser las fuerzas impulsoras del cambio y el éxito.

A continuación, en la Figura 2.1. se muestra un gráfico con el ranking de las 6 ciudades inteligentes mejor calificadas con sus distintos índices de dimensiones.

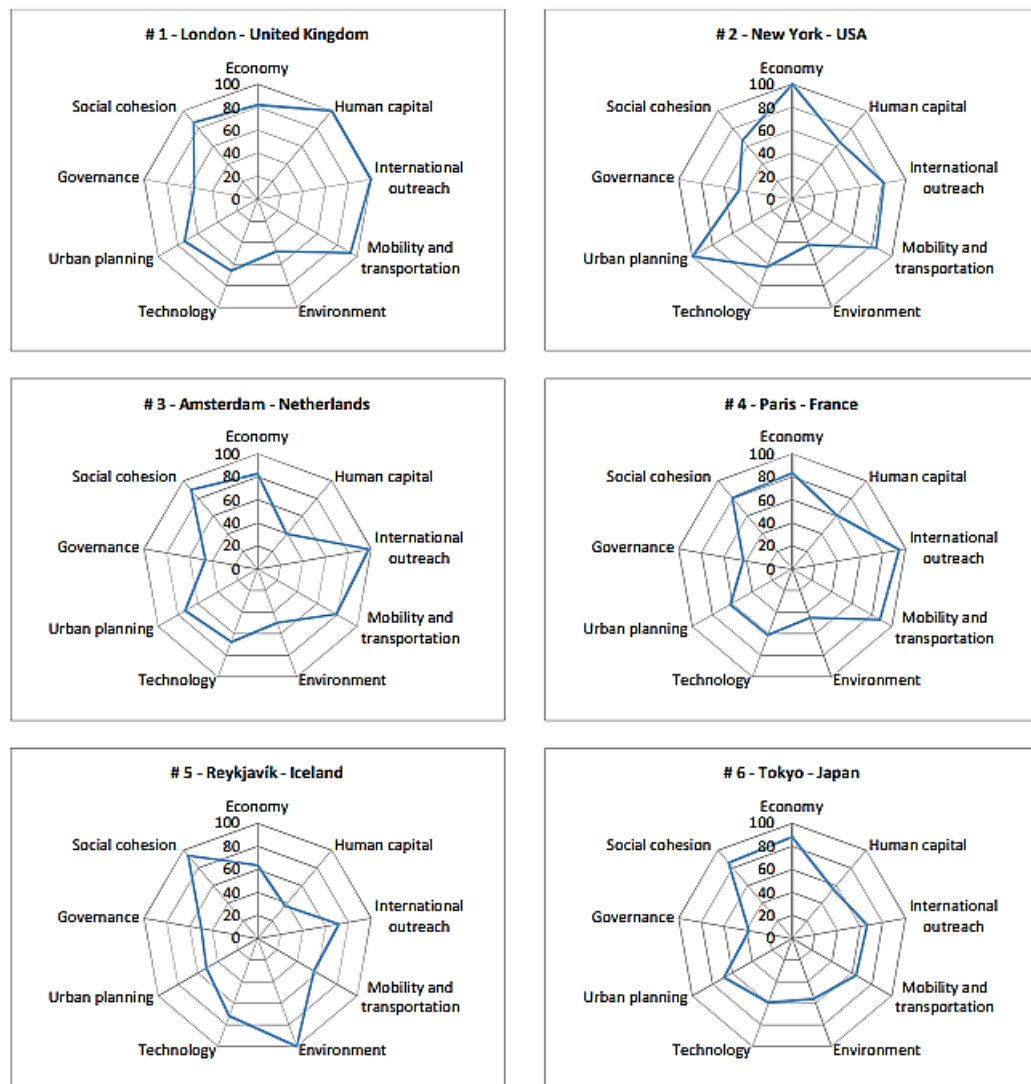


Figura 2.1 Graphical Analysis of the Profiles. Fuente: IESE Business School - IESE Cities in Motion Index / ST-509-E

En estos diagramas se puede comprobar como Londres está a la cabeza de las ciudades inteligentes. A pesar de no destacar en dimensiones como la gobernanza y en el medio ambiente, domina las dimensiones de capital humano, proyección internacional y la de movilidad y transporte. Además, está muy compensada en otras dimensiones como la economía, la cohesión social, la planificación urbanística y la tecnología.

La transformación de una ciudad es de vital importancia para comprender el enfoque de su objetivo de desarrollo. Los resultados que se obtienen en el ranking muestran una estabilidad en la mayoría de las ciudades en comparación con los años anteriores, sin cambios bruscos. En el caso de las ciudades españolas, se observa como las ciudades

de Madrid y Barcelona se sitúan en puestos relevantes a nivel mundial. En la Figura 2.2 se muestran las 50 ciudades más relevantes de los últimos años.

Se puede apreciar que los primeros 10 puestos del ranking están ocupados por megaciudades de gran población. Solo un selecto grupo de ciudades como Londres, Ámsterdam, Seúl o Viena son capaces de hacerlo bien en todas las dimensiones. El dominio de Europa es evidente con más de la mitad de las ciudades de este continente en el top 50.

2.4 MODELO DE NEGOCIO

Las ciudades inteligentes se han ido reinventando en los últimos años de la mano de la tecnología. Estas generan numerosas oportunidades de negocio y la posibilidad de colaborar entre el sector público y el privado. Se debe desarrollar un ecosistema en red que involucre a todos los grupos de interés, ciudadanos, organizaciones, gobierno, instituciones, empresas, universidades, centros de investigación, etc. Para analizar la situación actual, se va a poner en números las ciudades y las empresas tecnológicas.

En España, hay un total de 65 ciudades que están desarrollando proyectos de Smart City. Todas ellas forman parte de la RECI (Red Española de Ciudades Inteligentes) y gracias al aumento de inversiones públicas se están convirtiendo en un agente dinamizador de la economía del país. En 2018, el número de compañías españolas que estuvieron involucradas en el desarrollo de las ciudades inteligentes ascendió a 553 [Juan F. Samaniego. 2018].

En cuanto al nivel de financiación, según el documento Financing SmartStart [Siemens. 2019] elaborado por Siemens, se asegura que España tiene el potencial de atraer 4.200 millones de euros en inversiones privadas para Smart Cities. En 2018 la inversión en Europa en tecnologías aplicadas a ciudades inteligentes ascendió a los 19.000 millones de dólares y se estima que para el año 2021 el mercado puede duplicar el volumen de inversión a los 31.000 millones de dólares [Mitigación. 2018].

“Según los cálculos de Cisco, el valor de IoT para el sector público en España asciende a 100.000 millones de euros entre 2013 y 2023, de los que 90.000 millones corresponderían a las soluciones de Smart City” (Antonio Conde, director de IoT y Transformación Digital en Cisco España. 2018).

City	2016	2017	2018	2016-2017	2017-2018
London - United Kingdom	1	1	1	→ 0	→ 0
New York - USA	2	2	2	→ 0	→ 0
Amsterdam - Netherlands	6	3	3	↑ 3	→ 0
Paris - France	3	4	4	↓ -1	→ 0
Reykjavik - Iceland	4	5	5	↓ -1	→ 0
Tokyo - Japan	7	6	6	↑ 1	→ 0
Singapore - Singapore	8	8	7	→ 0	↑ 1
Copenhagen - Denmark	12	9	8	↑ 3	↑ 1
Berlin - Germany	5	7	9	↓ -2	↓ -2
Vienna - Austria	15	11	10	↑ 4	↑ 1
Hong Kong - China	19	14	11	↑ 5	↑ 3
Seoul - South Korea	10	10	12	→ 0	↓ -2
Stockholm - Sweden	9	12	13	↓ -3	↓ -1
Oslo - Norway	18	19	14	↓ -1	↑ 5
Zurich - Switzerland	13	16	15	↓ -3	↑ 1
Los Angeles - USA	16	15	16	↑ 1	↓ -1
Chicago - USA	20	21	17	↓ -1	↑ 4
Toronto - Canada	14	13	18	↑ 1	↓ -5
Sydney - Australia	22	18	19	↑ 4	↓ -1
Melbourne - Australia	17	20	20	↓ -3	→ 0
San Francisco - USA	11	17	21	↓ -6	↓ -4
Helsinki - Finland	25	24	22	↑ 1	↑ 2
Washington - USA	24	22	23	↑ 2	↓ -1
Madrid - Spain	21	25	24	↓ -4	↑ 1
Boston - USA	26	28	25	↓ -2	↑ 3
Wellington - New Zealand	23	23	26	→ 0	↓ -3
Munich - Germany	27	26	27	↑ 1	↓ -1
Barcelona - Spain	30	27	28	↑ 3	↓ -1
Basel - Switzerland	35	31	29	↑ 4	↑ 2
Taipei - Taiwan	28	30	30	↓ -2	→ 0
Bern - Switzerland	34	34	31	→ 0	↑ 3
Geneva - Switzerland	33	32	32	↑ 1	→ 0
Frankfurt - Germany	36	36	33	→ 0	↑ 3
Hamburg - Germany	32	29	34	↑ 3	↓ -5
Auckland - New Zealand	37	33	35	↑ 4	↓ -2
Göteborg - Sweden	29	37	36	↓ -8	↑ 1
Dublin - Ireland	31	35	37	↓ -4	↓ -2
Montreal - Canada	39	40	38	↓ -1	↑ 2
Ottawa - Canada	46	38	39	↑ 8	↓ -1
Miami - USA	43	39	40	↑ 4	↓ -1
Milan - Italy	38	41	41	↓ -3	→ 0
Phoenix - USA	49	42	42	↑ 7	→ 0
Rotterdam - Netherlands	50	43	43	↑ 7	→ 0
Lisbon - Portugal	45	44	44	↑ 1	→ 0
Dallas - USA	56	50	45	↑ 6	↑ 5
Edinburgh - United Kingdom	48	47	46	↑ 1	↑ 1
Prague - Czech Republic	51	48	47	↑ 3	↑ 1
Brussels - Belgium	41	45	48	↓ -4	↓ -3
San Diego - USA	57	55	49	↑ 2	↑ 6
Düsseldorf - Germany	44	49	50	↓ -5	↓ -1

Figura 2.2 Evolution of the Index for the Top 50 Cities in the 2018 Ranking (Past Three Years). Fuente: IESE Business School - IESE Cities in Motion Index / ST-509-E

Sin duda, las ciudades son uno de los motores económicos que mueven el mundo, pero presenta también muchos desafíos. En general y ya no solo por parte de los ayuntamientos, las oportunidades principales de negocio en el mercado de las ciudades inteligentes español van a ser:

- Mejorar la gestión de los recursos y servicios urbanos.
- Incrementar el atractivo e inversión turística.
- Generar nuevos productos y servicios que refuercen el tejido empresarial.

Existen también una serie de barreras bien señaladas que hay que tener en cuenta. Entre ellas destaca el hecho de querer generar y avanzar hacia un modelo de negocio donde cada empresa pueda diseñar su propia tecnología o plataforma de aplicación. Todo ello plantea una serie de retos:

- Flexibilizar un marco regulatorio administrativo.
- Definir un modelo de negocio sostenible en el tiempo, tanto para las empresas como para las ciudades.
- Aceptación por parte de los ciudadanos a los nuevos modelos.

Es por eso que uno de los frentes abiertos que va a marcar la tendencia futura de las ciudades inteligentes sea la necesidad de una estandarización que permita a diferentes empresas y sistemas poder colaborar de una manera fluida y sin problemas de funcionamiento por compatibilidad. Más allá de la arquitectura y despliegue de hardware en las ciudades inteligentes, un aspecto importante a tener en cuenta es la plataforma de software que gestione todos los activos de la infraestructura.

Existen varias iniciativas que trabajan en estándares abiertos e interoperables como por ejemplo OASC (Open & Agile Smart City) [Oascities. 2019]. Se trata de una red internacional de ciudades inteligentes sin ánimo de lucro que tiene como objetivo crear y dar forma al incipiente mercado global de datos y servicios generados en las ciudades inteligentes. Se encuentra a la vanguardia de los estándares para los datos, servicios y tecnologías de las ciudades ya que trabajan en función a las necesidades de la ciudad con el apoyo de la industria. Se diferencian de las demás iniciativas de redes de ciudades en que son impulsadas por la implementación y enfocadas a plataformas abiertas de participación ciudadana.

OASC está creciendo rápidamente y ya conecta a más de 140 ciudades inteligentes organizadas globalmente en redes nacionales de 27 países y regiones. Establecen los Mecanismos Mínimos de Interoperabilidad (MIM) necesarios para crear un mercado de

ciudades inteligentes. Los MIM son mecanismos simples y transparentes que están listos para usarse en cualquier ciudad, independientemente de su capacidad o tamaño. Cuando las ciudades implementan estos mecanismos, aumentan la velocidad de apertura de la innovación y el desarrollo al mismo tiempo que disminuyen en costes y la ineficiencia. Adicionalmente permiten a las ciudades poder participar en la transformación digital global.

En la práctica, los mecanismos mínimos de OASC son un conjunto de Interfaces de Programación de Aplicaciones (API) comunes para acceder a datos en tiempo real, información de contexto para estructurar datos y una plataforma de datos común.

Para la creación de API estándar de licencia abierta que estén destinadas a proporcionar el artefacto básico para la portabilidad e interoperabilidad de las soluciones de ciudad inteligente, OASC tiene una asociación clave con la iniciativa FIWARE. Es una iniciativa que define un conjunto universal de estándares para la gestión de datos contextuales que facilitan el desarrollo de soluciones inteligentes para diferentes dominios. Proporciona capacidades en la nube basadas en código abierto junto con un conjunto de herramientas y librerías de valor añadido denominadas Generic Enablers (GE).

La Figura 2.3 muestra cómo los diferentes GE de FIWARE se combinan para conformar una arquitectura que resuelve buena parte de las necesidades de una Smart City.

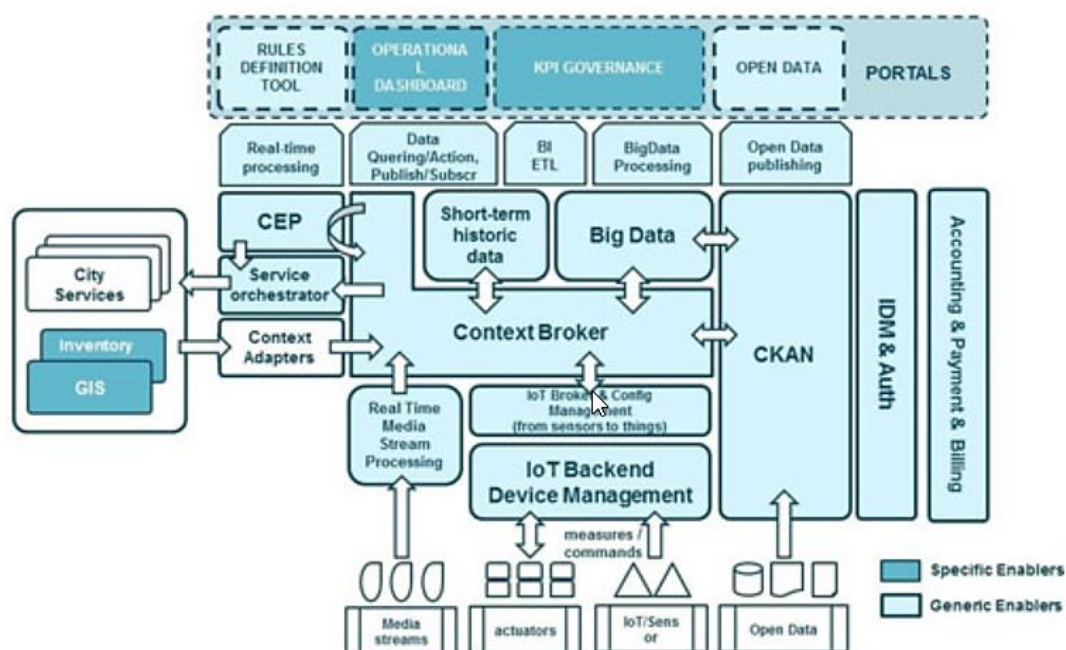


Figura 2.3 Arquitectura para Smart Cities FIWARE. Fuente: <https://www.esmartcity.es/comunicaciones/i-congreso-ciudades-inteligentes-fiware>.

El Orion Context Broker (OCB) es su componente principal, el cual aporta una función fundamental en cualquier solución inteligente, administrar la información de contexto, consultarla y actualizarla.

El modelo de datos para los proyectos FIWARE se define mediante programación utilizando un esquema JSON, que incluye una serie de atributos, metadatos y propiedades para el envío de variables a través de código. En la Figura 2.4 queda representado un ejemplo de esquema JSON en el cual queda definido el identificador único de la entidad, el tipo de entidad y los metadatos que contienen una serie de valores que a su vez incluyen sus propios atributos.

```
{
  "id": "entityId",
  "type": "entityType",
  "att1": {
    "value": "value1",
    "type": "Text",
    "metadata": {
      "metada1": {
        "value": "metavalue1"
      }
    }
  }
}
```

Figura 2.4 Esquema de datos JSON. Fuente: <https://fiware-datamodels.readthedocs.io/en/latest/howto/index.html>

Seleccionado en 2018 por la comisión europea como un bloque de construcción del Fondo para Conectar Europa (CEF), FIWARE reúne, gestiona y proporciona acceso a información contextual proveniente de diferentes fuentes que describen lo que está sucediendo en una ciudad. Un software de código abierto listo para el mercado que combina componentes que permiten la conexión a IoT con la gestión de la información contextual y los servicios de Big Data en la nube. [Fiware. 2019].

La plataforma FIWARE constituye la base de la infraestructura de las ciudades inteligentes y proporciona funcionalidades genéricas para soportar varios aspectos tecnológicos de las infraestructuras de Smart City tales como:

- Gestión de dispositivos IoT, puerta de enlace de IoT que puede conectarse con diferentes dispositivos que admiten varios protocolos de IoT y sistemas heredados.

- Gestión de datos y contexto, agente de contexto que puede administrar la información de contexto que está conectada con diferentes aplicaciones o dispositivos y proporciona información con API estándar.
- Almacenamiento de Big Data, funcionalidades para soportar el almacenamiento y la administración de gran cantidad de datos provenientes de sensores y dispositivos IoT.
- Gestión de datos abiertos, soporte para la publicación y aprovisionamiento de conjuntos de datos abiertos.
- Panel de control avanzado, posibilidad de crear interfaces de usuario (móviles) que admitan la visualización de datos en tiempo real, gráficos avanzados, cabinas, etc.
- Seguridad, administrador de identidad, control de acceso basado en roles, privacidad y anonimato.
- Nube: La plataforma debería poder ejecutar algunos de sus componentes en un entorno de nube en modo "como servicio".

Se basa en principios abiertos y bien definidos:

- Interoperabilidad, cada componente de FIWARE se puede integrar fácilmente con los demás y con los externos porque proporciona API estándar y abiertas.
- Modularidad, cada componente de FIWARE es independiente, por lo que no es obligatorio utilizar todos los componentes proporcionados en la arquitectura, pero algunos pueden sustituirse (por ejemplo, por otros propietarios relacionados con tecnologías específicas que ya están en las ciudades).
- Generalidad, una arquitectura que se puede personalizar para los diferentes dominios / casos de uso del proyecto (gestión de energía, movilidad, etc.) porque se basa en componentes genéricos.
- Reusabilidad, la plataforma se puede reutilizar fácilmente en diferentes ciudades con un esfuerzo limitado porque se basa en componentes genéricos y abiertos.

Las empresas y los desarrolladores pueden probar sus aplicaciones FIWARE en FIWARE Lab [Fiware. 2019], explotando los datos abiertos publicados por ciudades y

otras organizaciones. FIWARE Lab es una infraestructura de nube basada en OpenStack, un software que controla grandes grupos de recursos informáticos, de almacenamiento y de red en todo un centro de datos, administrado a través de un panel de control o mediante una API implementada en una red de nodos federados distribuidos geográficamente. [Openstack. 2019].

El uso de FIWARE en todo el mundo promueve un enfoque abierto, estandarizado y de mejores prácticas en el diseño e implementación de plataformas de ciudades inteligentes. Una iniciativa pionera que está presente en ciudades europeas y americanas como:

Viena (Austria), Niza y San Quintín (Francia), Génova (Italia), Utrecht (Holanda), Oporto (Portugal), Santander (España), Valencia (España), Gotemburgo (Suecia), La Plata (Argentina) y Montevideo (Uruguay).

La ciudad española Santander eligió FIWARE hace aproximadamente 7 años lo que hizo posible posicionar a la ciudad en una situación privilegiada. Con los más de 12.000 sensores desplegados por la ciudad, el ecosistema tecnológico de Santander se ha convertido en uno de los pilares fundamentales de FIWARE, siendo una plataforma presentada públicamente con el fin de que las empresas locales y en especial las PYMES pudiesen beneficiarse de su uso y así abrirse al mercado lleno de enormes posibilidades. [Santander. 2018]

Se pueden destacar otros proyectos y casos de uso más relevantes, por ejemplo, en Turín (Italia), La aplicación desarrollada en este caso, utiliza algunos habilitadores genéricos FIWARE relacionados con la visualización de datos y la inteligencia empresarial para analizar datos relacionados con advertencias o quejas recopiladas por los centros de contacto de la policía local, proporcionando notificaciones en tiempo real a las partes interesadas sobre los problemas de seguridad y las estadísticas. Otro ejemplo de ciudad que utiliza FIWARE es Valencia (España). Parte de su plataforma urbana VLCi (Valencia Ciudad Inteligente) aprovecha el uso de FIWARE Lab como un entorno de nube en el que se pueden desarrollar los componentes y aplicaciones de FIWARE, desplegarlos y probarlos antes de integrarse en la ciudad. [On the Use of Information. 2018].

El mercado actual de ciudades inteligentes está fragmentado y el perfil de riesgo para las inversiones es un desafío. Mediante el uso de los denominados mecanismos de interoperabilidad mínima, el proyecto SynchroniCity [Synchronicity-iot .2019] formado

alrededor de OASC, tiene como objetivo abrir un mercado global de IoT donde las ciudades y las empresas puedan compartir servicios digitales. Financiado por el programa de investigación e innovación Horizon 2020, SynchroniCity es un proyecto piloto europeo a gran escala de IoT actualmente en funcionamiento.

En su objetivo principal está la capacidad de intercambiar datos y servicios entre entidades públicas y privadas de manera segura y respetuosa. Sin embargo, SynchroniCity es mucho más que crear asociaciones locales de infraestructura de IoT basadas en dinámicas globales. Crea información para la política y valida los estándares globales para otras ciudades y proveedores que pueden usarse para difundir buenos servicios en sectores y países. Se basa en una simple pregunta: ¿qué se necesitaría para que una gran solución basada en datos en la ciudad "A" funcione fácilmente en la ciudad "B"?

Para poder desarrollar ese mercado único, SynchroniCity [Synchronicity-iot. 2019] crea un marco técnico que abarca las 18 ciudades europeas asociadas para ofrecer un marco único para dispositivos IoT. A través de una convocatoria abierta en febrero de 2019, cerca de 130 grupos liderados por compañías de pequeñas y grandes empresas que fueron seleccionados están lanzando una ola masiva de nuevos servicios, implementando inicialmente 49 de ellas que van a abordar áreas clave de desarrollo como la movilidad sostenible, la gestión de la energía y los edificios, la calidad del aire y una gobernanza ágil e inclusiva. Los servicios se seleccionan en función de su viabilidad económica y su capacidad para escalar nuevos negocios tomando el enfoque basado en estándares y centrándose en la ciudad. Estas implementaciones deberán demostrar la adopción sostenible de soluciones basadas en IoT e IA (Inteligencia artificial) para proporcionar unos servicios más eficientes y rentables.

A continuación, se muestra una tabla Figura 2.5 con información sobre los mecanismos mínimos de interoperabilidad para que se funcione en cualquier entorno compatible con OASC y SynchroniCity Framework.

MIM	Nombre MIM	Punto de interoperabilidad	Descripción
1	OASC Context Information Management MIM	API de gestión de información de contexto	Esta API permite acceder a información de contexto en tiempo real desde diferentes ciudades.
2	Modelos de datos OASC MIM	Modelos de datos compartidos	Directrices y catálogo de modelos de datos comunes en diferentes verticales para permitir la interoperabilidad de aplicaciones y sistemas entre diferentes ciudades.
3	OASC Ecosystem Transaction Management MIM ("Mercado")	API de Marketplace	La API expone funcionalidades como gestión de catálogos, gestión de pedidos, gestión de ingresos, acuerdos de nivel de servicio (SLA), gestión de licencias, etc. Complementado por mercados de servicios, hardware y formación.
4 4	Seguridad	API de seguridad	API para registrar y autenticar usuarios y aplicaciones para acceder a los servicios.
5 5	Almacenamiento	API de almacenamiento de datos	Esta API permite acceder a datos históricos y datos abiertos de ciudades.

Figura 2.5 OASC Minimal Interoperability Mechanisms (MIMS). Fuente: <https://synchronicity-iot.eu/tech/>

Los MIM (1-3) indicados en el recuadro azul, fueron adoptados por el Consejo de Ciudades de la OASC el 16 de enero de 2019.

El buen funcionamiento y desarrollo de una ciudad inteligente se debe establecer en base a 3 pilares fundamentales que son, la administración pública de la ciudad, las empresas y los ciudadanos. De acuerdo con este concepto, existen una serie de proyectos donde las empresas y emprendedores locales pueden acceder a ayudas para desarrollar productos y servicios de innovación a través de las convocatorias de “open call”.

Un ejemplo de ellos es Organicity [Organicity. 2019], un proyecto colaborativo de investigación financiado por la Comisión Europea (Horizon 2020) desde el 1 de enero 2015 hasta el 30 de junio de 2018 y con un presupuesto de 7.266.582€. Actualmente trabaja en métodos para mantener el proyecto más allá del periodo financiado.

Organicity es un servicio de experimentación que explora como ciudadanos, empresas y ciudades pueden colaborar para crear soluciones digitales para retos urbanos. El prototipo de EaaS (Experimentación como un Servicio), es un modelo en el que las ciudades proporcionan los recursos para que los ciudadanos, las pequeñas empresas, las corporaciones y las autoridades municipales prueben sus nuevas ideas a pequeña escala. [Organicity. 2019].

Este servicio se compone de una serie de pilares innovadores:

- Experimentación sistemática, un marco de recursos y herramientas que facilitan un proceso para la evaluación de resultados a pequeña escala antes de la iteración y expansión.
- Co-creación, un marco donde generamos ideas, tecnología y servicios en colaboración, manteniendo a las personas en el centro del proceso.
- Ética y privacidad federadas, un marco de protección integral de usuarios y sujetos de datos (individuos a los que se refieren los datos) en todo el servicio.
- Gestión de responsabilidad y derechos de propiedad intelectual, un marco de protección legal para quienes colaboran en el proceso de innovación.

Los datos son una herramienta muy valiosa que van a ayudar a construir mejores ciudades. Se puede recopilar y utilizar información de las condiciones ambientales, los movimientos de las personas, el transporte público, las viviendas, el consumo de energía y muchos otros campos para comprender como funcionan actualmente las ciudades y como se podría gestionar de una manera más eficiente.

Las ciudades están en un proceso de transformación a través del uso de tecnologías digitales, pero existe una falta de experiencia sobre cómo utilizar mejor los datos o convertirse en una buena ciudad inteligente, es ahí donde la premisa subyacente de Organicity se basa en que el crecimiento de la ciudad debe involucrar a todos, ya que muchos ciudadanos desconocen esa transformación a pesar de contribuir regularmente a la generación de datos.

El modelo de experimentación como servicio promueve de manera efectiva para que los ciudadanos de las ciudades participen de manera activa en el desarrollo de soluciones para abordar problemas locales. Basándose en estándares abiertos y especificaciones globales en evolución, Organicity ofrece un enfoque de mejores prácticas para cerrar las brechas entre autoridades, ciudadanos y desarrolladores en la transformación digital de las ciudades.

3 REDES DE SENSORES INALÁMBRICAS

Las tecnologías de redes inalámbricas han tenido un rápido desarrollo en los últimos años. Se ha pasado de las comunicaciones por infrarrojo punto a punto a las redes inalámbricas de área personal (WPAN) multipunto de corto alcance como Bluetooth o a redes de un rango de alcance medio empleando soluciones malladas o multisalto como Zigbee. Dentro de las tecnologías inalámbricas para las redes de área local (WLAN), la tecnología WiFi (IEEE 802.11) se considera disruptiva y precursora de la situación actual con una presencia masiva de entornos inalámbricos.

Estas tecnologías han sido clave en el éxito inicial de la IoT. Actualmente, son estándares bien establecidos y con soluciones populares para el hogar. Sin embargo, son poco eficaces en otros entornos y, por tanto, su uso no es recomendable, por ejemplo, en aplicaciones que requieran despliegues con amplias áreas de cobertura.

Las tecnologías tradicionales de conectividad inalámbrica basadas en comunicaciones celulares proporcionan una mayor cobertura. Más allá de dotar de facilidades de interconexión a las personas, estas redes en el ámbito de la IoT, se erigen como habilitadoras de las comunicaciones Machine to Machine (M2M) y son una de las grandes apuestas de las grandes empresas del sector de las telecomunicaciones. Vinculadas a una tarjeta SIM, su conectividad responde al modelo de negocio de pago por Mbyte consumido. [Efor. 2017].

En un proyecto de IoT donde se presupone una conexión entre una gran multitud de dispositivos que envíen datos, la tecnología celular conlleva una dificultad de escalabilidad, una cobertura que se asocia a un operador con costes por datos transmitidos y un alto consumo energético que son inasumibles en dispositivos los cuales deben estar desplegados en territorio de campo y deben ser alimentados por batería.

Por este motivo, se hace necesaria la implantación de tecnologías más apropiadas a estas redes tan específicas. A continuación, se describen las características principales de un sensor, el estado tecnológico en el que se encuentran actualmente las redes de sensores, y el tipo de tecnologías de comunicación inalámbricas para redes de baja potencia y área amplia (LPWAN) que entran en el marco de las ciudades inteligentes y el IoT.

3.1 SENSORES

Los sensores son dispositivos hardware que obtienen una respuesta medible a un cambio en una condición física. Existen numerosos tipos de sensores que forman parte de distintos sistemas y dispositivos electrónicos: desde sensores de temperatura y humedad para sistemas de meteorología, acelerómetros y sensores de movilidad para sistemas de presencia, hasta sensores acústicos y detectores de sustancias químicas para sistemas de alarmas [Mecatronicalatam. 2018].

La mayoría de estos sensores se limitan a funcionar como transductores, que transforman una magnitud física (térmica, mecánica, magnética, óptica, eléctrica, etc.) en otra magnitud, normalmente eléctrica, y envían esa información a un procesador central dentro de un sistema electrónico. Sin embargo, en los últimos años la tendencia para el funcionamiento de los sensores es trabajar de manera independiente dentro de un sistema, siendo alimentado y gestionado con un módulo de comunicación dotado de inteligencia. De esta manera, los sensores conectados inalámbricamente pueden interactuar con otros nodos semejantes formando una red de sensores inalámbricos (WSN, Wireless Sensor Networks).

En muchas ocasiones estas capacidades de conectividad se implementan de forma bidireccional, consiguiendo así poder lanzar órdenes a los nodos desde los sistemas de gestión. Es entonces, cuando los sensores que inicialmente actuaban únicamente como transductores y emisores de información, se convierten en actuadores, pudiendo modificar su modo de operación y cambiar las condiciones de su entorno. A continuación, en la Figura 3.1 se aprecia la estructura básica de un nodo sensor.

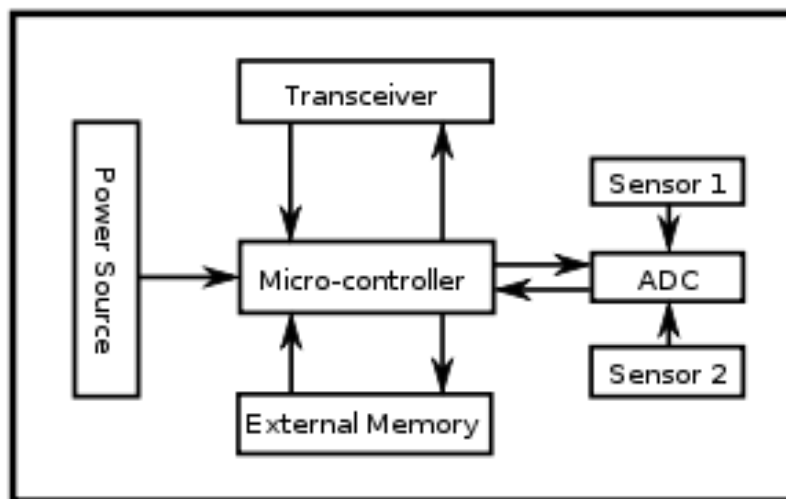


Figura 3.1 Estructura de un nodo sensor

3.2 REDES DE SENSORES

El desarrollo de este tipo de redes ha supuesto grandes cambios en el enfoque y despliegue de soluciones en muy diversos sectores. Algunos fabricantes más importantes de la industria de las telecomunicaciones como Microsoft, IBM, Intel o Motorola se lanzaron a la investigación de estas soluciones a la vista de su gran potencial [Mfbarcell. 2019]. En los últimos años han adquirido una relevancia especial debido al empuje del sector de IoT, que ha multiplicado su despliegue en la creación de nuevas necesidades surgidas de las ciudades inteligentes.

Las redes de sensores inalámbricas están formadas por un conjunto de dispositivos autónomos e inteligentes que tienen la capacidad recoger datos de información y comunicarse entre ellos y con una base central con la finalidad de intercambiar la información que ha sido capturada del entorno donde son emplazadas y así poder realizar las acciones necesarias.

Dentro de una WSN se encuentran distintos elementos como nodos sensores, actuadores, pasarelas o Gateway, y estaciones base. La estructura básica de una red WSN se muestra en la Figura 3.2.

El nodo sensor se encarga de recoger la información recibida por los sensores y transmitirla hacia otros nodos o la estación base. Los actuadores son dispositivos que tienen la capacidad de modificar el comportamiento del propio dispositivo o de terceros en función de la configuración previa. Los Gateway son elementos que permiten conectar los nodos de la red con otras redes externas o una red troncal, mientras que la estación base es el elemento en el que se concentran y tratan los datos remitidos desde la red de sensores.

Debido a su naturaleza inalámbrica y a su modo de operación en periodos de larga duración, el diseño de una WSN dependerá de una serie de criterios y restricciones en relación al coste, la escalabilidad y el bajo consumo. El nodo tiene un tamaño pequeño y, debido a este tamaño, la batería que alimenta el dispositivo tiene poca capacidad de carga. Esto conllevaría que el reemplazo de las baterías suponga un intenso coste.

Para evitar este problema, existen protocolos más eficientes energéticamente para el diseño de redes inalámbricas. A continuación, se expondrán una serie de tecnologías de comunicación pensadas para el uso en aplicaciones y servicios de IoT y ciudades inteligentes.

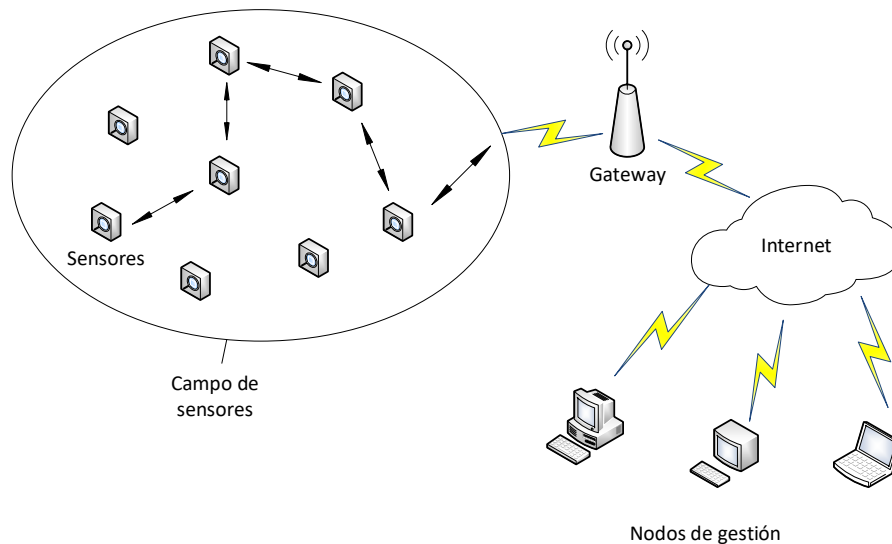


Figura 3.2 Estructura de una red WSN

3.3 TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIÓN EN REDES DE SENSORES

Las tecnologías de bajo consumo de área extensa (LPWAN, Low Power Wide Area Networks) están llamadas a ser la alternativa a las actuales conexiones de datos móviles empleadas para dotar de conectividad a los despliegues de red de sensores.

Las LPWAN son redes inalámbricas, cuyo requerimiento energético es más bajo que los otros tipos de redes, tienen un hándicap respecto a que no pueden transmitir grandes cantidades de datos o información. Esta limitación supone que no se puedan transmitir datos de manera constante y sostenida. Sin embargo, los pocos Kbits que son capaces de transmitir por canal, las hacen ideales para aplicaciones de IoT entre dispositivos conectados que requieran de un ancho de banda menor y que pueden estar en movimiento. Además, pueden cubrir grandes superficies con elevada eficiencia.

Existen varios tipos de redes LPWAN en la actualidad, siendo las más conocidas las redes Narrowband for the Internet of Things (NB-IoT), LTE-M, SigFox [Sigfox. 2019] o Long Range (LoRa) [Lora. 2019].

NB-IoT es una tecnología diseñada exclusivamente para IoT que tiene previsto despliegues en varias regiones del planeta. El año pasado se efectuó un avance importante al realizar la primera conexión en roaming de la mano de Vodafone y Deutsche Telekom [Samuel Fernández. 2019]. Las redes NB-IoT hacen uso de las bandas reservadas a la telefonía móvil celular, ya sea en bandas de guardia o en canales que no se utilizan pudiendo llegar a obtener velocidades entre los 20 y 250 kbit/s de transmisión. En la actualidad se prevé que se extendían gracias al apoyo de la industria y a estar apoyadas por los propios operadores de telefonía móvil.

Una alternativa en la misma línea que NB-IoT son las redes LTE-M que también se han popularizado en los últimos tiempos. Se basan en el uso de las redes 4G, aunque con extensiones y protocolos específicos de ahorro de energía que buscan adaptar el comportamiento de los nodos a las necesidades de las redes de sensores. Así, por ejemplo, su modo de operación mantiene apagados las interfaces de comunicaciones siempre que no se necesite transmitir información. Esto las hace inviables en smartphones u otros usos. Pueden obtener velocidades aproximadas a los 100kbit/s.

SigFox es una tecnología propietaria de la empresa francesa SigFox que se identifica como un operador de LPWAN para conectividad IoT. Trabaja en una banda no licenciada ISM¹, en Europa en 868MHz, con una modulación BPSK² de ancho de banda a 100Hz y una velocidad de transmisión máxima de 600 bits/s. La transmisión de mensajes diarios está limitada a 140, cada uno de los cuales tiene una carga útil máxima de 12 bytes. Emplea una topología de red en estrella, pudiendo alcanzar la densidad de la misma hasta el millón de nodos por estación base. Los dispositivos se conectan a las estaciones base que reúnen la información y la hacen llegar a la nube SigFox a través de enlaces de distintas tecnologías.

LoRa es una tecnología inalámbrica patentada por Semtech Corporation. Se basa en una modulación de espectro ensanchado que utiliza una señal de Chirp Spread Spectrum (CSS), una de cuyas virtudes es la gran tolerancia a las interferencias de banda. Es la tecnología de capa física sobre la que se construye el estándar LoRaWAN (protocolo de red y arquitectura del sistema que utiliza la tecnología loRa). Al igual que SigFox, opera en las bandas sin licencia ISM, 868Mhz en Europa. Cuenta con una cobertura de hasta 20 km en un entorno rural y unas tasas de velocidad que alcanzan los 50kbit/s teniendo un tamaño máximo de paquete de 243 bytes. La diferencia con las demás LWPAN es que permite una tasa de datos adaptativa (ADP, Adaptative Data Rate) para optimizar el uso de la batería en función de la cobertura o de la tasa de datos necesaria.

En una red LoRaWAN los nodos no se asocian con una puerta de enlace específica, sino que los datos transmitidos por un nodo son recibidos por múltiples puertas de enlace y cada una de ellas reenviará el paquete recibido hasta el servidor de red basado en la nube. Este realiza las comprobaciones de seguridad y finalmente redirigirá los

¹ (ISM). Son bandas de radio reservadas internacionalmente para fines industriales, científicos y médicos distintos de las telecomunicaciones.

² (BPSK). Modulación por desplazamiento de fase.

datos a servidores de aplicaciones asociados. En la Figura 3.3.se distingue una topología de red típica de LoRa. [Daghan Acay. 2016]

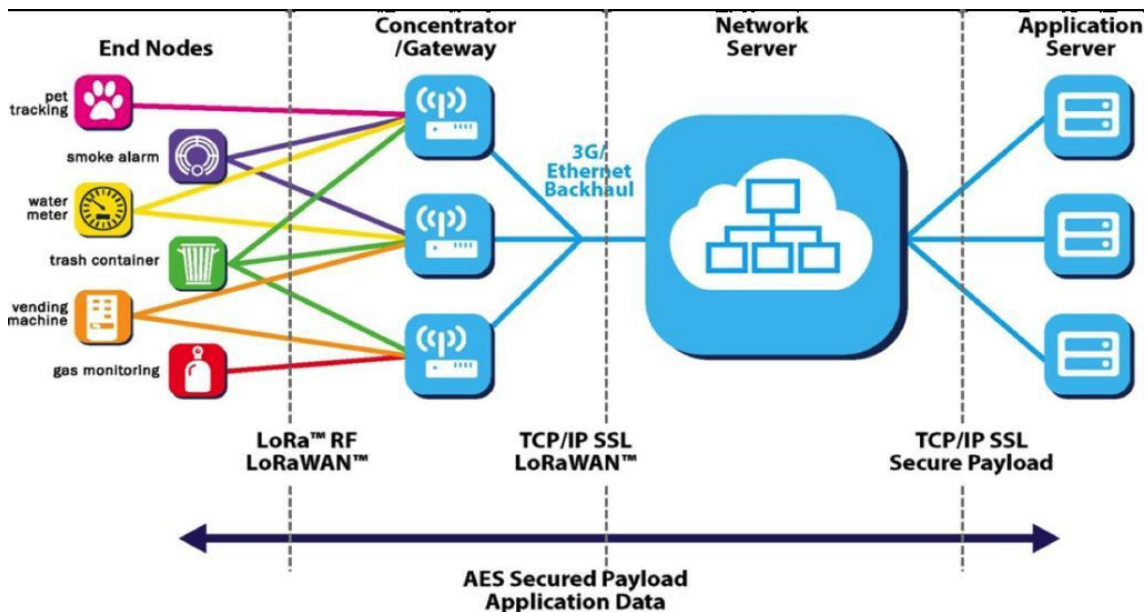


Figura 3.3 Topología de red LoRa

Se trata de una red segura donde los datos van cifrados extremo a extremo entre el nodo y la plataforma final que alojará los datos. Todo nodo debe haberse registrado y autenticado con anterioridad a formar parte de la red para evitar usos fraudulentos.

Los dispositivos con tecnología LoRa operan con duraciones estimadas de batería de hasta 8 o 12 años sin tener que realizar un mantenimiento. Sus costes de conectividad son mucho más atractivos que otras tecnologías como 4G o NB-IoT, puesto que al emplear bandas no licenciadas en principio son gratuitas. Todo esto, hace que la tecnología LoRa sea ideal para conexiones a grandes distancias y para redes IoT que se pueden utilizar dentro de las ciudades inteligentes, en lugares con poca cobertura celular, o en redes privadas de sensores o actuadores.

En comparación con otras tecnologías, LoRa encaja en el rango de mayor distancia de alcance al igual que el resto de tecnologías LPWAN tal y como se aprecia en la Figura 3.4 donde se compara una amplia variedad de tecnologías basadas en la cobertura.

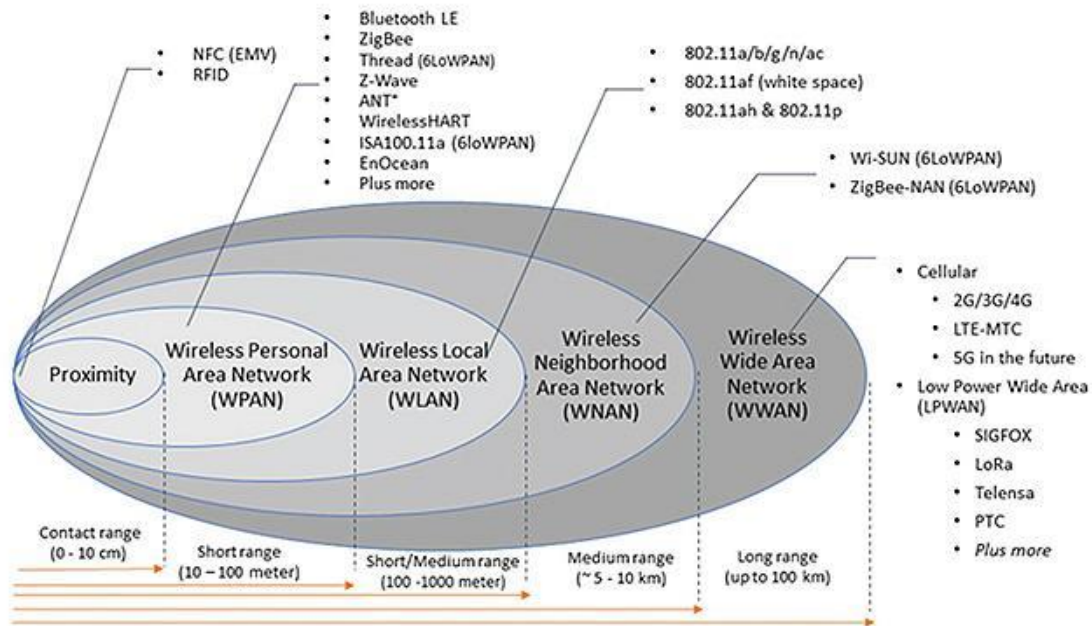


Figura 3.4 Diagrama de comparación de tecnologías inalámbricas según su alcance

LoRaWAN comparte algunas fortalezas de 5G ya que aprovecha un estándar abierto y un ecosistema global próspero. Sin embargo, en contraste con 5G, LoRaWAN ha sido diseñado desde cero para servir en casos de uso donde los dispositivos que funcionan con baterías envían bytes de datos cada 15min y necesitan funcionar durante más de 10 años sin cables. Por ese motivo, no serán ideales para aplicaciones que requieran la transmisión de video o llamadas de voz, pero puede considerarse una opción óptima para muchos casos de uso de IoT.

A nivel nacional, Redexia es la primera red de LoRaWAN dedicada al IoT que se ha lanzado en España. Un proyecto que ha sido impulsado desde comienzos de 2019 por dos emprendedores madrileños (Alex Bryszkowski y Juan Ederra) y que se ha desplegado de manera progresiva, de tal manera que se espera tener una cobertura total del territorio nacional en un máximo de 3 años [Esmartcity. 2019].

4 CASOS PRÁCTICOS

En capítulos anteriores se habla sobre la importancia de los servicios que se pueden aplicar para dar valor a la gran cantidad de datos recogidos por los sensores. También, se hace referencia a las diferentes redes y protocolos inalámbricos que se despliegan para dar soporte a plataformas de IoT dentro de las ciudades inteligentes.

A continuación, se procede a realizar el desarrollo de dos aplicaciones IoT, cada una empleando una tecnología diferente de comunicación. Se busca demostrar la diferencia de funcionalidad y la potencial interoperabilidad existente entre ambas. Mientras que una está enfocada a un uso en el entorno del hogar, con una transmisión de datos más rápida vía WiFi y un rango de alcance bastante reducido, la otra hace uso de la tecnología LoRa donde a pesar de tener limitaciones en el flujo de transmisión, es capaz de enviar datos a través de un Gateway de hasta 20 km dejando claro su usabilidad en un despliegue de campo.

Existen diferentes soluciones de adopción en la nube para adaptarse a las diversas necesidades de despliegue en las empresas como de acceso para los usuarios, software, plataforma e infraestructura como servicio (SaaS, PaaS, IaaS). Cada uno de estos modelos se estructura en una capa diferente y proporciona distintos niveles de control, gestión y flexibilidad. Las dos soluciones propuestas tienen un soporte de aplicación en la nube que se asemeja a una plataforma como servicio.

4.1 APLICACIÓN IOT MEDIANTE MICROSOFT AZURE

En el primer caso se desarrolla la integración de un nodo o red de sensores con la plataforma en la nube de Microsoft Azure IoT [Azure-microsoft. 2019]. El nodo recopilará diferentes parámetros ambientales y los remitirá a la plataforma Microsoft Azure, desde la cual se pueden desplegar diferentes servicios que hagan uso de dichos datos. Para el caso que nos conlleva, se plantea el almacenaje en una base de datos y posterior generación de informes dinámicos y visuales en tiempo real mediante Power BI [Powerbi. 2019] que facilite el uso por parte del usuario. La interfaz, inicialmente web, se extenderá a una aplicación para dispositivos móviles a través de la herramienta de software Power Apps.

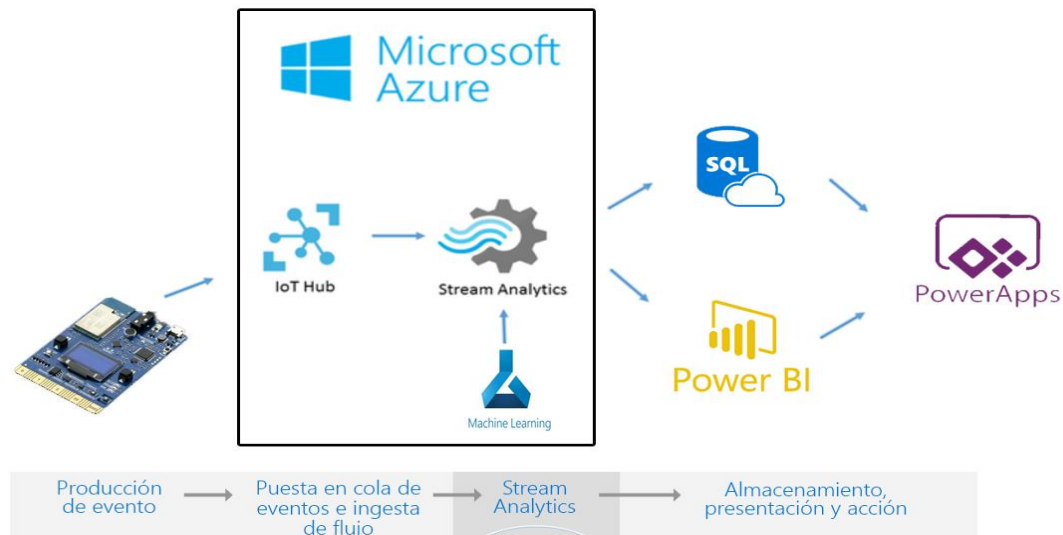


Figura 4.1 Estructura de la aplicación IoT. Elaboración propia

La estructura de la red creada se refleja en la Figura 4.1. A modo de utilidad de monitorización del correcto funcionamiento del sistema y haciendo uso de las funcionalidades disponibles de Machine Learning en la plataforma Microsoft Azure IoT, se plantea la creación de una serie de alertas por correo cada vez que surja un cambio programado en nuestro servicio en la nube.

4.1.1 Hardware

Para la implementación de la solución propuesta se ha escogido como nodo el kit de desarrollo MXChip – Az3166 [Mxchip. 2019], que proporciona una solución de hardware inteligente compatible con la plataforma Arduino.

La Figura 4.2 muestra la composición, funcionalidad e interfaces de dicha placa.

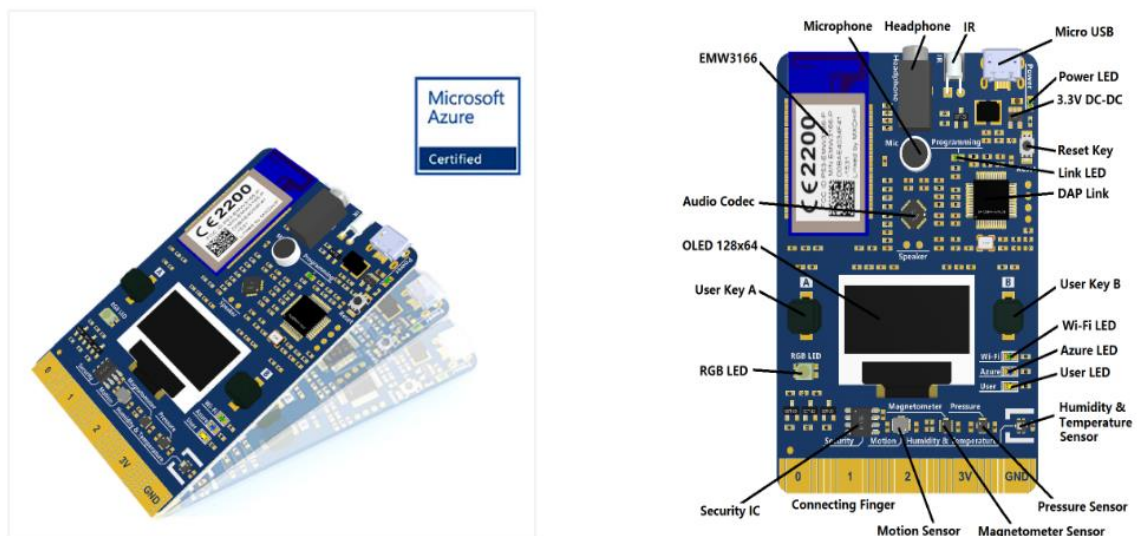


Figura 4.2 Kit de desarrollo MXChip-az3166. Fuente: <https://en.mxchip.com/az3166>

La unidad de control principal de AZ3166 es EMW3166, consta además de un módulo Wifi de bajo consumo desarrollado por MXCHIP. Una pequeña pantalla OLED de 128 x 64, además de otros recursos como luz LED. El kit de desarrollo tiene una unidad de procesamiento de audio para conectarse a Azure por reconocimiento y reproducción de voz. Además de los propios sensores incluidos de forma nativa, entre los que se incluye sensores de temperatura y humedad, de presión atmosférica, magnetómetro y de movimiento, dispone de la conectividad necesaria para añadir sensores externos. La representación esquemática del diagrama de bloques queda reflejada en la Figura 4.3.

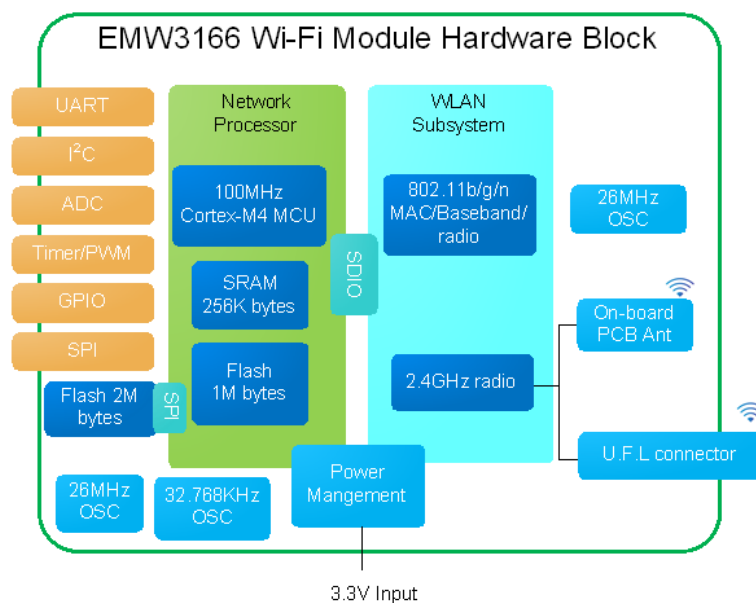


Figura 4.3 Diagrama de bloque esquemático MXChip-az3166. Fuente: <https://en.mxchip.com/az3166>

4.1.2 Software

La programación del kit de desarrollo se ha realizado mediante el programa Visual Studio Code, un editor de código fuente multiplataforma con potentes herramientas de desarrollador que permite trabajar con extensiones. Entre ellas se ha empleado una que ofrece conectividad directa con el IDE de Arduino y que proporciona la cadena de herramientas necesaria para compilar y cargar el código en la placa. Se ha empleado también el paquete de extensión Azure IoT Tools, que contiene Azure IoT Device Workbench para desarrollar y depurar en varios dispositivos IoT devkit y Azure IoT Hub Toolkit para administrar e interactuar con Azure IoT Hub.

Los desarrollos realizados sobre el hardware seleccionado incluyen el código necesario para que se transmitan los datos que se desean y configurar en el programa una puerta de enlace con Microsoft Azure que viene dado por la extensión para establecer una conexión segura.

Microsoft Azure, es la piedra angular sobre la que se basa esta aplicación. Se trata de una plataforma que ofrece un conjunto de servicios en la nube que otorga la libertad de crear, administrar e implementar aplicaciones en una red mundial. Dentro de esta plataforma, nos enfocamos en la parte de IoT. Azure IoT ofrece interfaces de interconexión abiertos y contiene una serie de herramientas para el análisis de datos.

Power Bi es una solución de análisis empresarial que permite visualizar los datos y compartir la información con toda la organización. Puede conectarse a miles de orígenes de datos para desarrollar paneles e informes dinámicos. Es ideal para la toma de decisiones y permite mostrar los datos de una manera interactiva.

Power Apps es un conjunto de aplicaciones, servicios, conectores y plataforma de datos que proporciona un entorno de desarrollo rápido de aplicaciones personalizadas para la necesidad empresarial. Proporciona funciones enriquecidas de flujo de trabajo y lógica de negocios para transformar los procesos automatizados y digitales.

Para el uso de estas herramientas, se necesita tener una cuenta registrada con licencia. Concretamente, Microsoft Azure funciona con planes de pago dependiendo de la modalidad contratada. Los servicios requeridos en este trabajo se han realizado con el plan gratuito, lo que conlleva una serie de limitaciones como la restricción de paquetes enviados al día de los dispositivos a la nube.

4.1.3 Desarrollo

La primera parte del desarrollo consta de una serie de pasos para la configuración y conectividad entre el dispositivo MXChip – Az3166 y la plataforma Azure. El dispositivo se debe conectar a un punto de acceso inalámbrico a través de una red Wifi. [Microsoft.github. 2019]

Para poder operar correctamente en la cuenta de Microsoft Azure, se tiene que registrar un nuevo grupo de recursos donde se va a agregar el centro de IoT (acicatech-iot-hub) y el recurso de trabajo de análisis (stream-analytics-iot) el cual se utilizara más adelante. En la Figura 4.4 se aprecia cómo queda el panel con los recursos creados para esta aplicación.

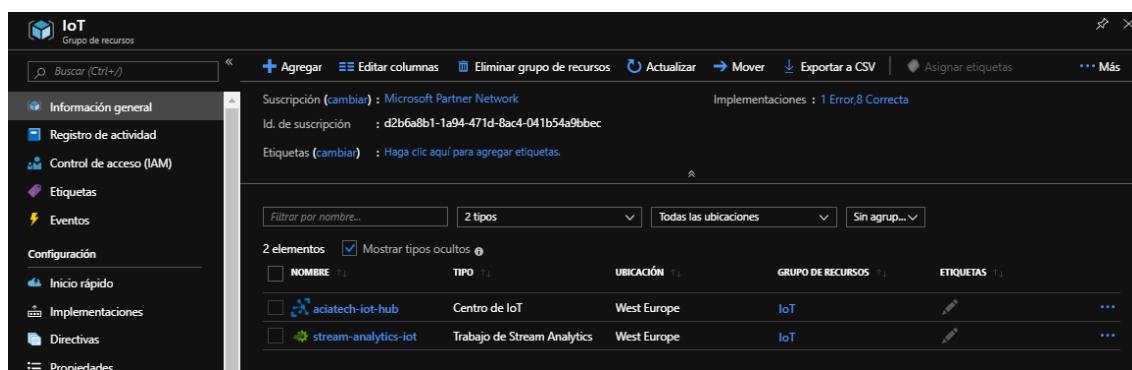


Figura 4.4 Grupo de recursos IoT. Elaboración propia. Fuente: <https://portal.azure.com/#@acicatech.es>

Una vez creado el recurso de centro IoT, dentro de éste, se registra un dispositivo IoT. Tal y como se muestra en la Figura 4.5 se le ha dado un nombre de IoT-Devkit y automáticamente se generan una serie de claves para poder enlazar posteriormente con el dispositivo real.

De este modo, en el código generado para compilar en el dispositivo, se deben incluir estas claves de acceso para que se identifique con el centro IoT. La utilización del programa Visual Code junto con el paquete de extensión Azure IoT Tools facilita el establecimiento de la conexión con la plataforma de Azure. A la hora de compilar el programa en el dispositivo, se debe incluir solamente la clave de acceso del centro IoT, tal como se muestra en la Figura 4.6 y permite vincular el dispositivo real con el creado en la plataforma virtual.

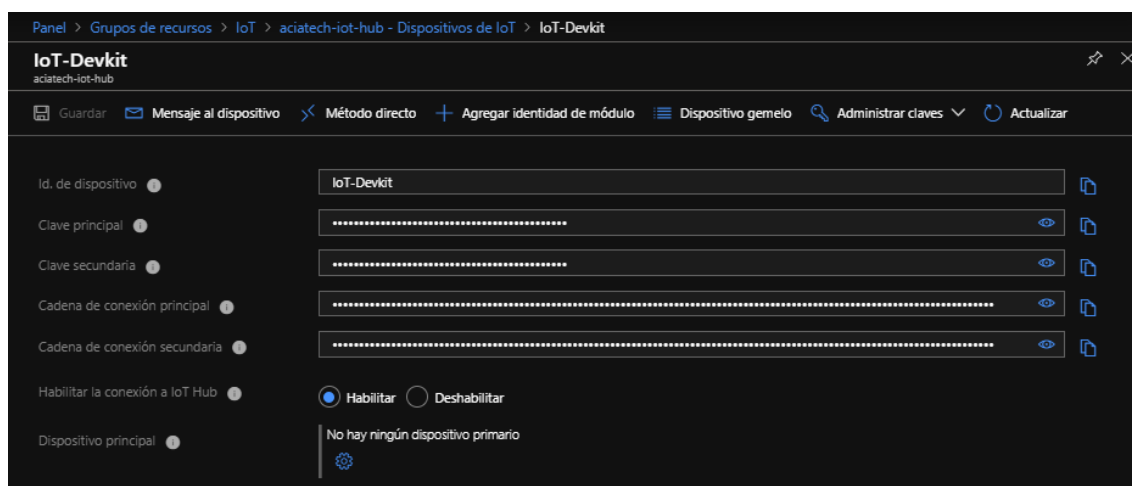


Figura 4.5 Dispositivos IoT. Elaboración propia. Fuente: <https://portal.azure.com/#@acicatech.es>

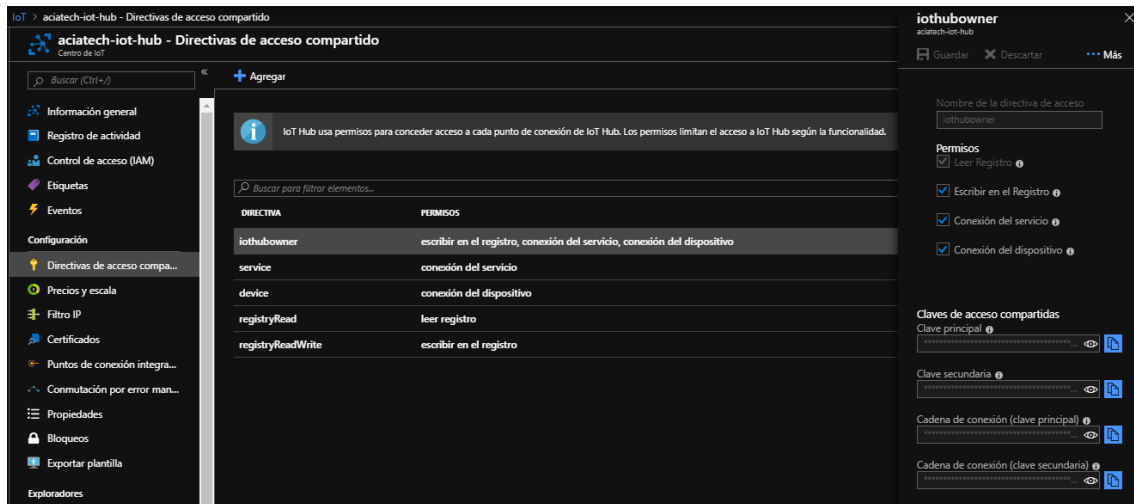


Figura 4.6 Directivas de acceso compartido Centro IoT. Elaboración propia. Fuente: <https://portal.azure.com/#@acicatech.es>

Para la aplicación actual, se va a programar en el nodo sensor la transmisión de los registros de la temperatura, humedad y presión recogidos por la placa, además de los valores del giroscopio en 3 ejes para dar los ángulos en X, Y, Z, de manera que se pueda reflejar movimiento del dispositivo y poder tomar decisiones en función de los datos obtenidos.

Estos datos se almacenarán en una base de datos remota. Para el envío se realiza una consulta en la plataforma de Azure para que los datos recibidos en el centro IoT se transfieran en modo Streaming hacia una base de datos en SQL server y hacia la herramienta online de Power Bi. Es necesario habilitar una tabla dentro de una base de datos en Microsoft SQL server para poder almacenar los registros. La estructura de la base de datos debe estar correlacionada con el abanico de datos que se va a recibir. Para este caso, en la Figura 4.7 se muestra la estructura de la tabla con la definición de los tipos para cada una de las columnas.

```
CREATE TABLE dbo.Mxchip
(
    Temp float NOT NULL,
    TemperatureUnit varchar(25) NOT NULL,
    Hum float NOT NULL,
    humidityUnit varchar(25) NOT NULL,
    pressure float NOT NULL,
    pressureUnit varchar(25) NOT NULL,
    EjeX float NOT NULL,
    GUnit varchar(25) NOT NULL,
    EjeY float NOT NULL,
    EjeZ float NOT NULL,
    EventEnqueuedUtcTime datetime,
    EventProcessedUtcTime datetime
)
GO
```

Figura 4.7 Estructura de una creación de tabla en SQL. Fuente: Elaboración propia

Una vez creada la tabla en la base de datos, en el recurso Streaming Analytics de Azure, se configura la entrada y las salidas que se desean para poder realizar una consulta en tiempo real. En la Figura 4.8 se puede ver la consulta realizada.

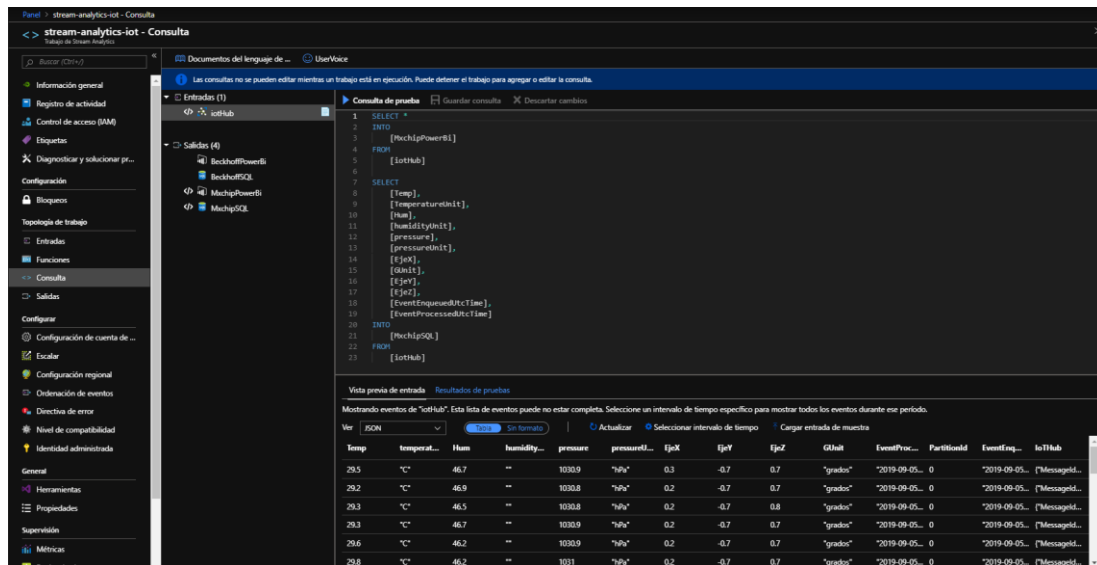


Figura 4.8 Consulta Streaming Analytics. Elaboración propia. Fuente: <https://portal.azure.com/#@acicatech.es>

Una vez activado el recurso se puede observar cómo los datos son importados en las salidas que se han configurado. En SQL server se realiza una consulta mostrada en la Figura 4.9 para visualizar los datos que contiene la tabla creada.

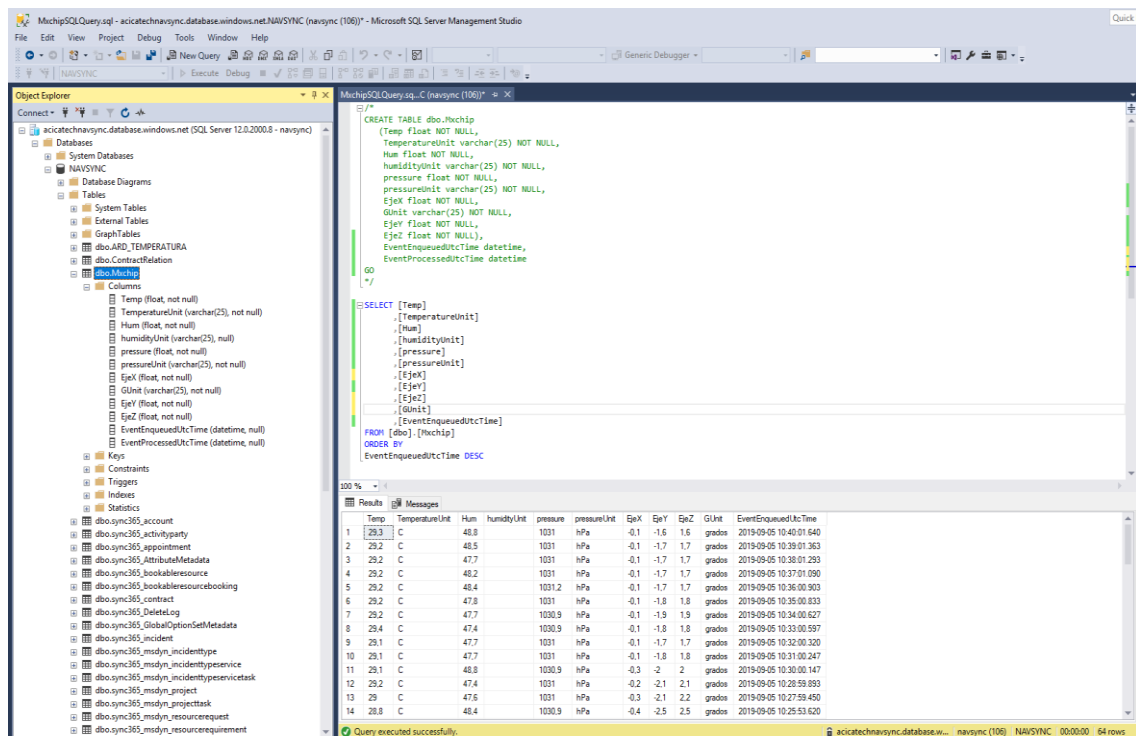


Figura 4.9 Consulta tabla SQL server. Elaboración propia. Fuente: Microsoft SQL server

De este modo, la ejecución del recurso Streaming Analytics se encarga de que los registros queden almacenados en la base de datos directamente.

Para visualizar los valores obtenidos de forma gráfica e intuitiva, dentro de la herramienta de Power Bi online se accede al conjunto de datos generados por la consulta, y con ellos generar un informe básico para representar dichos datos de manera gráfica y visual en un panel final.

En la Figura 4.10 se muestra el panel desarrollado para esta aplicación con Power Bi. Se reflejan y destacan los datos máximos y mínimos de los sensores de temperatura y humedad, una gráfica con la evolución de la presión en el periodo de tiempo escaneado y una gráfica representativa de los grados de inclinación en los ejes X, Y, Z, del giroscopio.

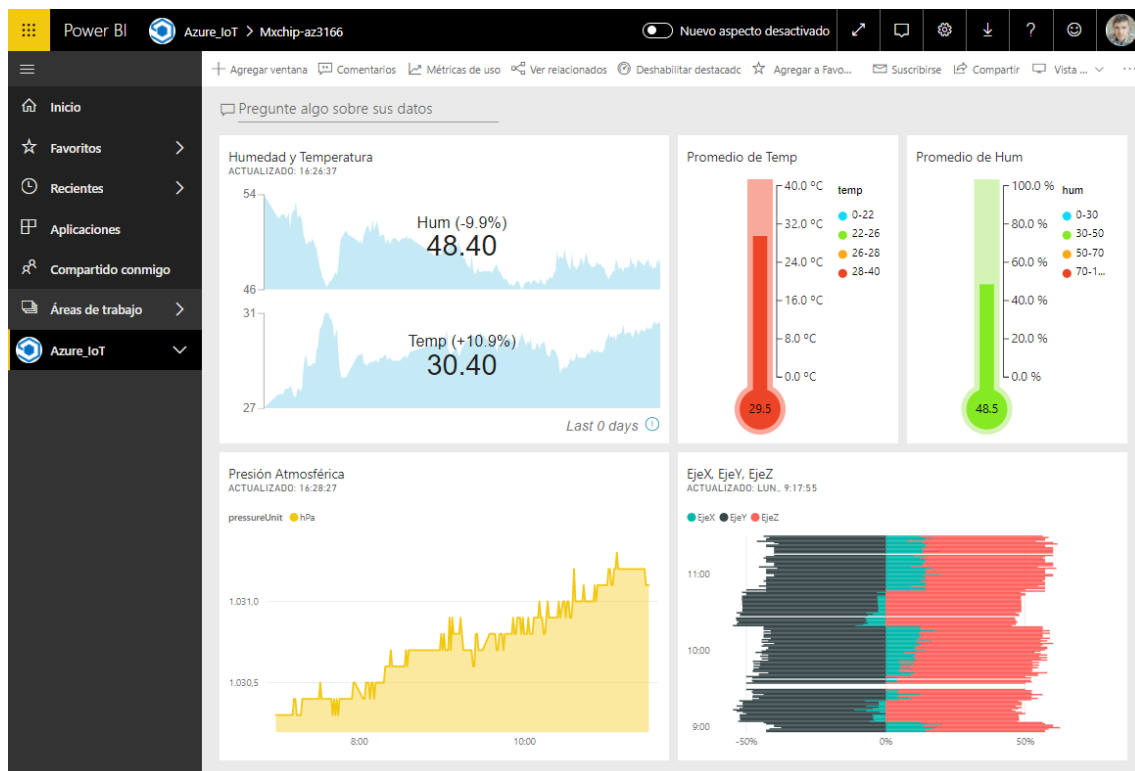


Figura 4.10 Panel Mxchip-az3166 Power Bi. Elaboración propia. Fuente: <https://app.powerbi.com>

Azure IoT tiene la posibilidad de generar una alerta de funcionamiento para informar de las condiciones críticas y activar la realización de acciones correctivas automatizadas según los desencadenadores. Con la premisa de añadir una dosis de seguridad a la aplicación, se ha configurado una alerta de aviso por correo electrónico para informar de la recepción de datos cuando supera un umbral de paquetes para simular un caso de emergencia. En las Figura 4.11 y Figura 4.12 se refleja la alerta generada y cómo ha

sido configurada. Posteriormente en la Figura 4.13 se ve un ejemplo de cómo sería el correo recibido de alerta.

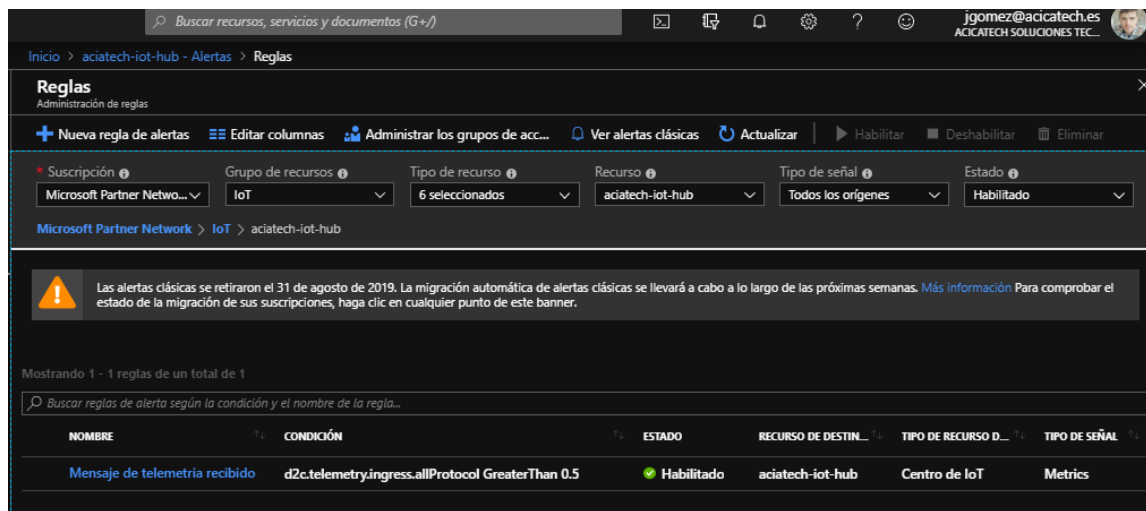


Figura 4.11 Alerta registrada en Azure IoT. Elaboración propia. Fuente: <https://portal.azure.com/#@acicatech.es>

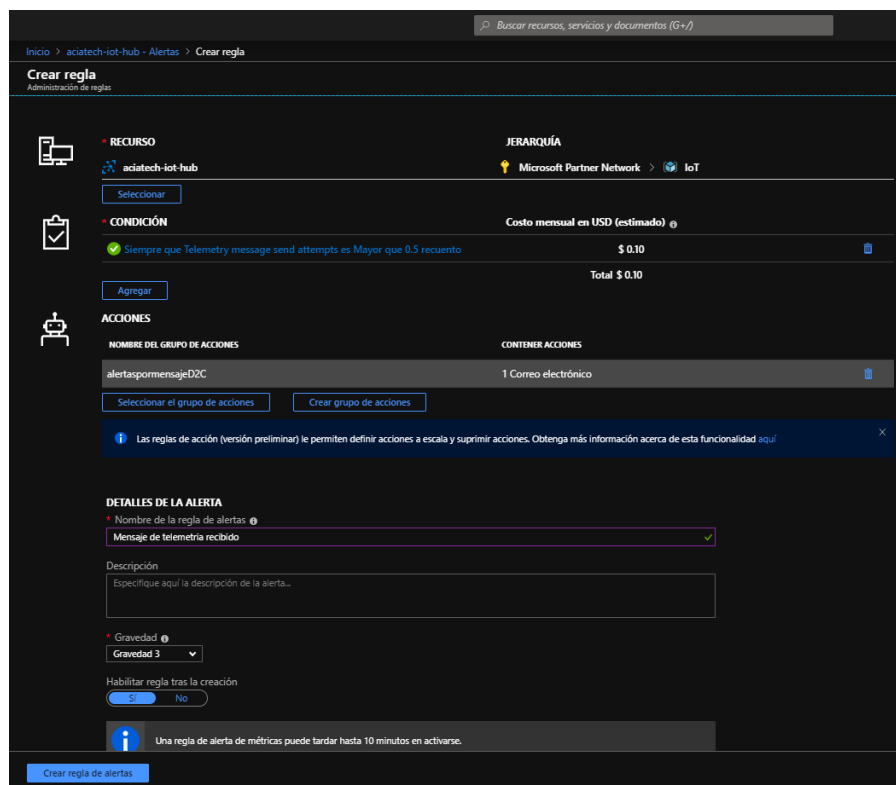


Figura 4.12 Creación de alerta en Azure IoT. Elaboración propia. Fuente: <https://portal.azure.com/#@acicatech.es>



Fired:Sev3 Azure Monitor Alert Mensaje de telemetria recibido on aciatech-iot-hub (microsoft.devices/iothubs) at 9/5/2019 6:51:58 AM

[View the alert in Azure Monitor >](#)

Summary

Alert name	Mensaje de telemetria recibido
Severity	Sev3
Monitor condition	Fired
Affected resource	aciatech-iot-hub
Resource type	microsoft.devices/iothubs
Resource group	iot
Subscription	Microsoft Partner Network
Monitoring service	Platform
Signal type	Metric
Fired time	September 5, 2019 6:51 UTC
Alert ID	ea9ed7a8-f47a-4227-bd1e-dcf2d941eac2
Alert rule ID	https://portal.azure.com/#blade/Microsoft_Azure_Monitoring/UpdateVNextAlertRuleBlade/ruleInputs/%7B%22alertId%22%3A%22%2Fsubscriptions%2Fd2b6a8b1-1a94-471d-8ac4-041b54a9bbec%2FresourceGroups%2FIoT%2Fproviders%2Fmicrosoft.insights%2FmetricAlerts%2FMensaje%20de%20telemetria%20recibido%22%7D

Figura 4.13 Correo de alerta recibido. Elaboración propia.

Finalmente, se ha desarrollado una aplicación para dispositivos móviles a través de la herramienta PowerApps. En esta aplicación, se recogen los datos de los sensores desde las distintas fuentes de almacenamiento. Se ha dividido en tres secciones para acceder a los valores según el formato de origen y observar la evolución de los entornos de visualización.

- 1- Valores en una tabla directa desde la base de datos en SQL server.
- 2- Valores implementados en gráficos con linealidad temporal.
- 3- Valores presentados en gráficos representativos en función de la magnitud medida por los sensores.

En este trabajo se ha limitado la tarea de la aplicación para visualizar el contenido de los registros de una forma rápida y accesible desde cualquier dispositivo móvil, pero el uso de este tipo de aplicaciones sirve perfectamente para poder realizar labores de control en función de las métricas obtenidas.

A continuación, en la Figura 4.14 se muestra el entorno de desarrollo de PowerApps.

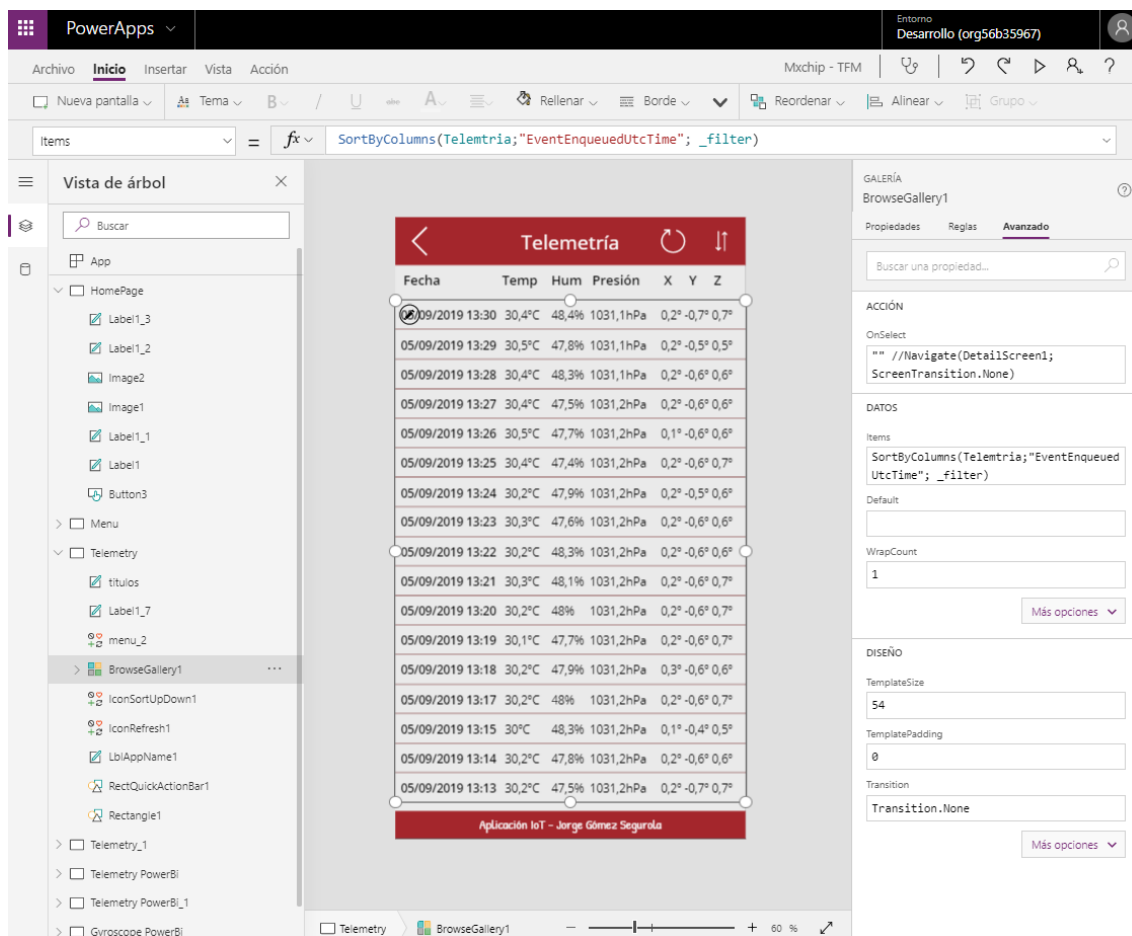


Figura 4.14 Edición de la aplicación PowerApps. Elaboración propia. Fuente: <https://eu.create.powerapps.com/studio/#>

4.2 APLICACIÓN IOT RED LORA

En el segundo caso, se desarrolla una aplicación con un nodo sensor que hace uso de la tecnología LoRa. Se configura el acceso a un Gateway para poder transmitir los datos y que sean redireccionados a un servidor, en este caso a través de The Things Network [Thethingsnetwork. 2019]. En este servidor, se integra el acceso a la plataforma en la nube de my Devices Cayenne [Cayenne.mydevices. 2019] para la visualización de los registros recibidos. También se plantea la creación de alertas por aviso en función a los valores obtenidos a modo de representar un ejemplo de gestión de datos.

Con esta aplicación, se consigue mostrar una red LoRaWAN completa desde la recolección de datos hasta su posterior análisis en la nube con la visualización gráfica de los valores en tiempo real. La estructura de la red LoRaWAN creada se refleja en la Figura 4.15

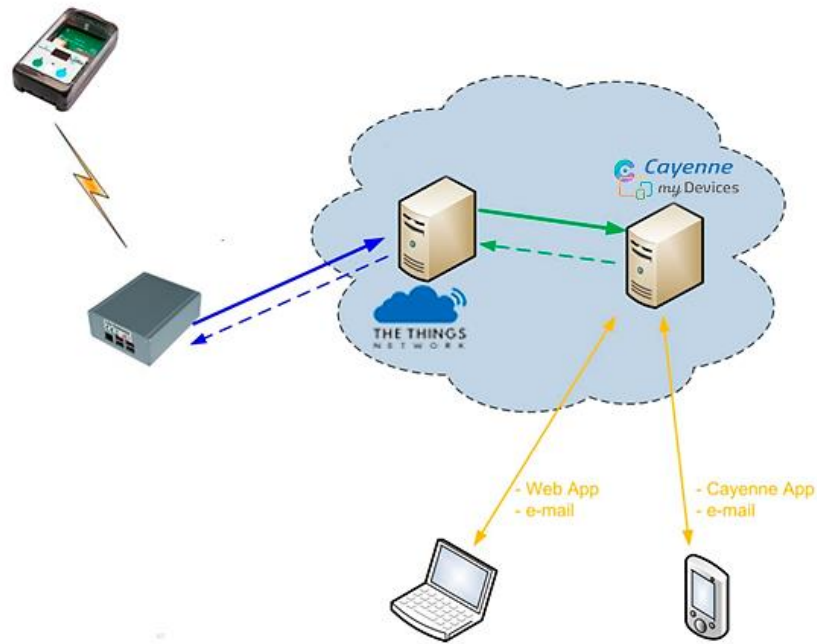


Figura 4.15 Estructura de red LoRa. Fuente: Elaboración propia

4.2.1 Hardware

Para la implementación de esta solución es necesario contar con un nodo sensor y un Gateway que haga de enlace con el servidor donde queremos transmitir los datos.

4.2.1.1 Sensor

Se ha escogido como nodo sensor el dispositivo IMST Mote II [Wireless-solutions. 2019] que está certificado por LoRaWAN. Se trata de una plataforma de demostración diseñada para ser utilizada en una variedad de aplicaciones como domótica y automatización de edificios, sistemas inalámbricos de alarma y seguridad, monitoreo y control industrial y en proyectos de IoT y ciudades inteligentes. Para ello, la plataforma está equipada con un módulo de radio bidireccional iM881A de baja potencia. Cuenta con varios tipos de sensores como acelerómetro, altímetro, temperatura y un módulo de GPS. En la Figura 4.16 se puede apreciar el dispositivo IMST Mote II y su composición.

4.2.1.2 Gateway

El Gateway permite la interconexión entre el sensor y una red TCP/IP. Para este desarrollo se utiliza un modelo de Gateway TBMH100 del fabricante Kerlin, pero se puede conectar a otros compatibles con LoRaWAN y TTN.

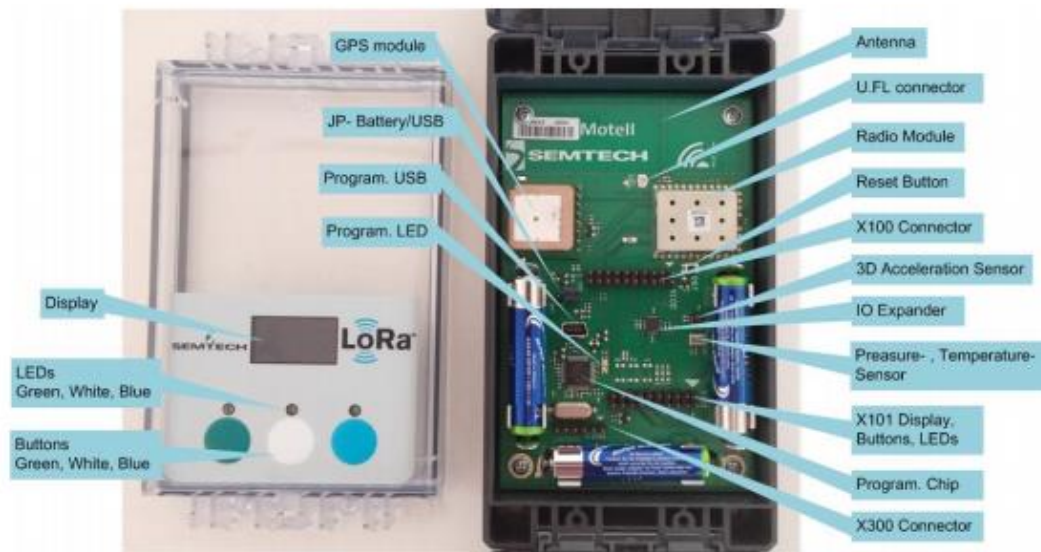


Figura 4.16 IMST Mote II y descripción de hardware

4.2.2 Software

Es necesario la instalación del programa LoraMoteConfig [Lora-developers. 2019] para la configuración de las claves del dispositivo. El resto de las configuraciones que se realizan para esta aplicación se realizan dentro del entorno de ajustes en el servidor The Things Network y la plataforma my Devices Cayenne, donde se debe tener una cuenta registrada gratuita para poder acceder.

4.2.3 Desarrollo

El dispositivo IMST Mote II que va a ejercer como nodo sensor en la red LoRa, necesita ser enlazado con el servidor The Things Network. Para ello, en el servidor se crea una aplicación donde se agrega un dispositivo de manera similar al caso anterior donde el IoT Hub de Azure generaba unas claves de acceso y debían ser insertadas en el código en ejecución en el nodo sensor. El dispositivo de LoRa dispone una dirección única denominada Device EUI que se debe insertar en los ajustes del dispositivo creado. La aplicación, por su parte, se identifica también de manera unívoca mediante el denominado Application EUI que deberá ser configurado dentro del dispositivo, a través del programa LoraMoteConfig, para asociarlo a dicha aplicación. Adicionalmente, para securizar la aplicación y la comunicación entre los extremos y, también, para permitir el modo de activación OTAA (Over the Air Activation), la configuración debe incluir un conjunto de claves criptográficas. Por una parte, existe la Application Key (AppKey) que

es la clave maestra asignada al dispositivo, y por otra, las claves de sesión (Network Session Key y App Session Key) derivadas a partir de la anterior y empleadas para verificar y cifrar la comunicación a través de la red. En la Figura 4.17 se muestra un extracto del proceso de configuración de la plataforma.

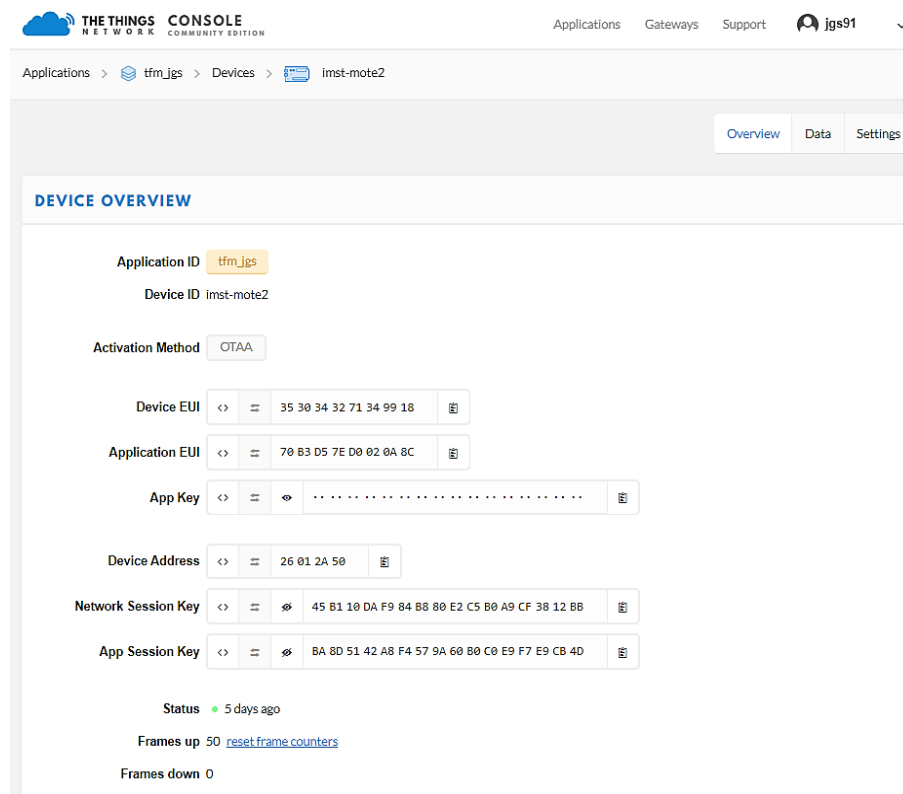


Figura 4.17 Ajustes de un dispositivo en TTN: Fuente: https://console.thethingsnetwork.org/applications/tfm_jgs/devices/imst-mote2/settings

La introducción de las claves necesarias para enlazar el dispositivo con el servidor The Things Network mediante el programa LoraMoteConfig queda representada en la Figura 4.18.

Lo siguiente que se realiza es la conexión y configuración del Gateway dentro de la aplicación para que se genere una puerta de enlace entre el nodo sensor y el servidor.

Se añaden las claves del dispositivo Gateway y se comprueba que los datos enviados por el nodo sensor son recogidos en el tráfico de paquetes visualizados dentro del propio servidor tal y como se muestra en la Figura 4.19.

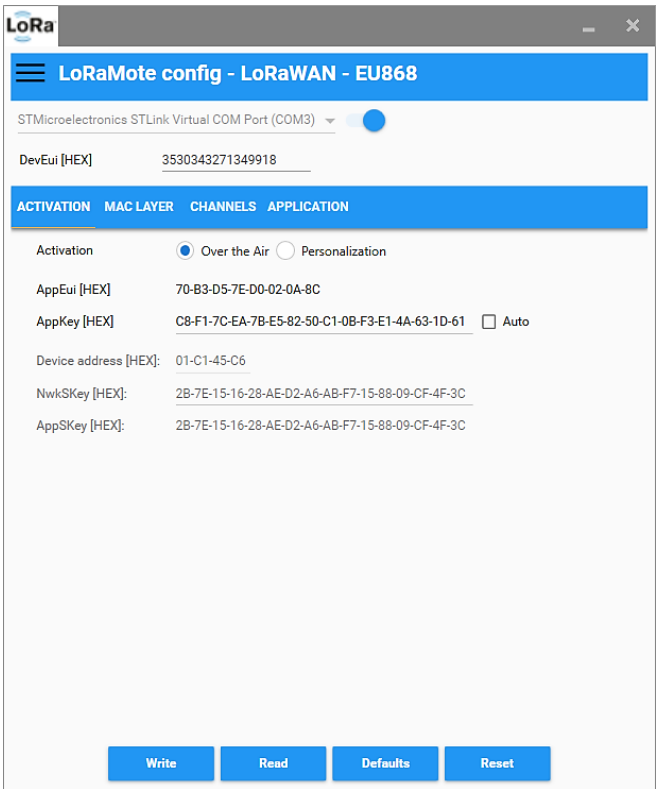


Figura 4.18 Interfaz de configuración LoraMoteConfig

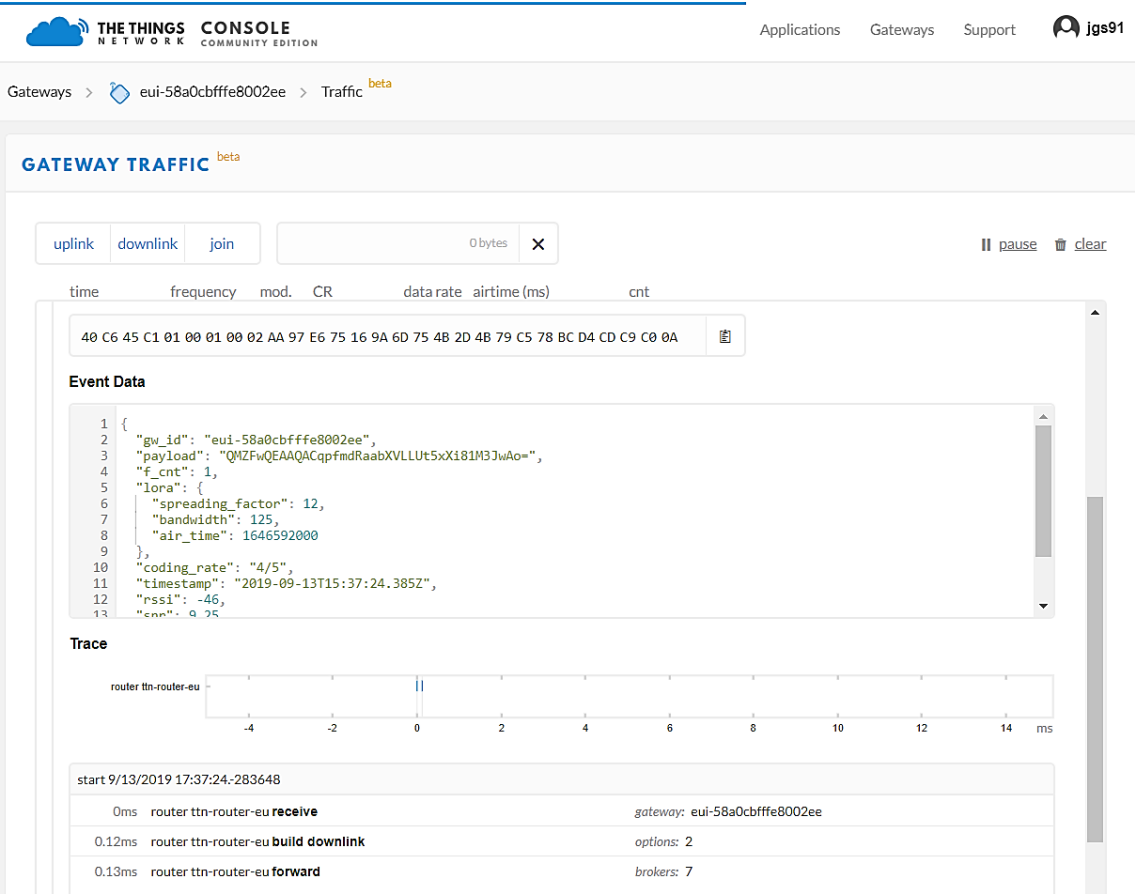


Figura 4.19 Tráfico de datos en el Gateway. Fuente: <https://console.thethingsnetwork.org/gateways/>

La siguiente parte de este segundo desarrollo consiste en la integración de los datos recibidos a través del servidor con la plataforma de my Devices Cayenne. Para ello, dentro del servidor se asocia la aplicación creada con la plataforma. A su vez, en la plataforma se diseña un entorno de trabajo donde se tiene que agregar el dispositivo Lora Mote II empleado como nodo sensor y sincronizando las claves de la aplicación. Una vez enlazado el dispositivo con la plataforma automáticamente se empiezan a recibir los datos aportados por el sensor.

Dentro de la plataforma se genera un panel gráfico con los valores recibidos similar al informe realizado en Power Bi. Se obtiene así un acceso rápido y de manera visual a los valores de los sensores que contiene el nodo. En la Figura 4.20 se muestra una captura del panel generado.

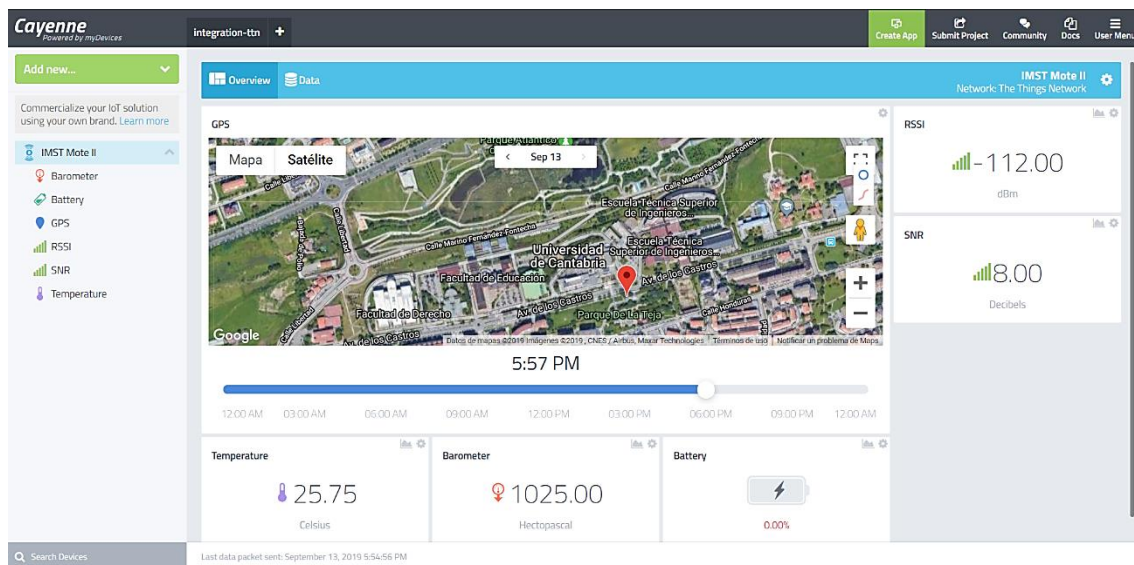


Figura 4.20 Panel visual de los datos obtenidos por el nodo sensor. Elaboración propia. Fuente: <https://cayenne.mydevices.com/cayenne/dashboard/lora>

Al igual que en Azure, dentro de la plataforma my Devices Cayenne se considera la opción de activar una serie de alertas para demostrar la funcionalidad de la aplicación en caso de requerir un servicio de avisos con relación a los valores obtenidos.

Como parte final de este desarrollo se añade un ejemplo de aviso por correo electrónico para informar cuando se superen los 25 grados de temperatura en el nodo sensor. En la Figura 4.21 se observa cómo se realiza la configuración de la alerta.

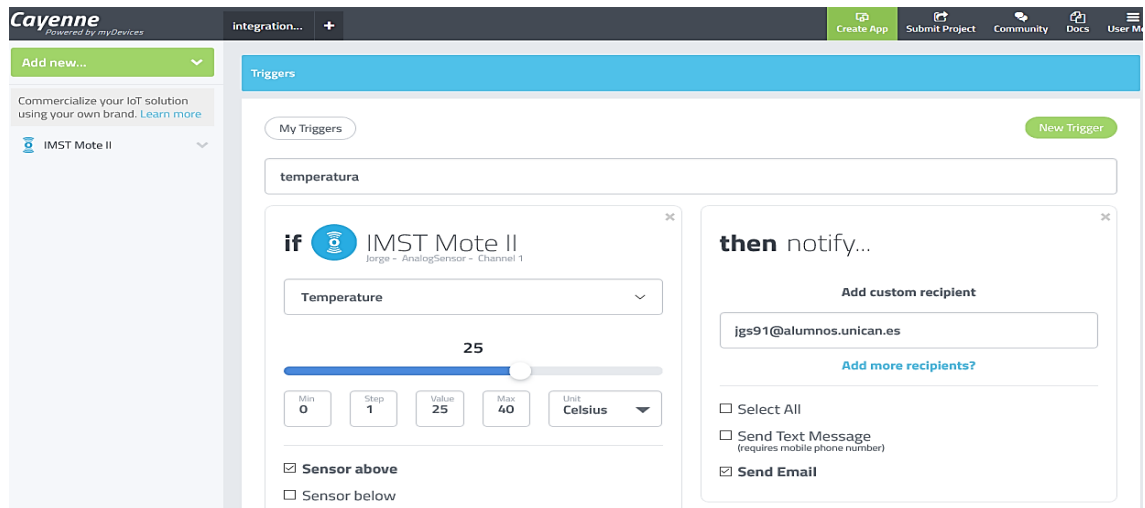


Figura 4.21 Creación de alerta por aviso. Elaboración propia. Fuente: <https://cayenne.mydevices.com/cayenne/dashboard/project/triggers>

5 CONCLUSIONES

Con la evolución generacional de las ciudades inteligentes, existe un claro cambio de tendencia. Una vez instaladas todas las infraestructuras tecnológicas necesarias mediante redes de sensores y actuadores en las distintas partes de las ciudades, ahora es el momento de la generación de software para la gestión y control de los datos obtenidos de todos esos nodos implantados.

No existe un único modelo de ciudad inteligente, debido a la gran diferencia entre cada una de ellas y las distintas necesidades que requiere cada ciudad, se deben diseñar sus particulares transformaciones hacia la evolución inteligente de la misma. Cada vez es más evidente que para la interoperabilidad futura de todas las soluciones y aplicaciones planteadas en cada ciudad se debe seguir una serie de normas y estándares que simplifiquen la operabilidad y funcionalidad a nivel global. Ya no tiene sentido hacer la guerra por su cuenta, si no que deben cooperar entre ellas y trabajar de manera conjunta usando los mismos modelos de datos, de esta forma, se pueden llegar a compartir los recursos en cuanto al desarrollo de aplicaciones y servicios que beneficien a la ciudad y a los propios ciudadanos.

Las iniciativas y proyectos de estandarización plantean una serie de requisitos que se deben de seguir, y esto, ayuda en la cooperación del ciudadano, que a través de un modelo de negocio de open data facilita el crecimiento de innovaciones y soluciones para los distintos problemas que se puedan abordar dentro de la ciudad.

Respecto a las tecnologías inalámbricas mencionadas en este trabajo, LoRa termina siendo la tecnología más flexible para solucionar diversos y variados problemas. Gracias a sus topologías de conexión LoRaWAN privadas o públicas, a su largo alcance y bajo consumo, hace que sea una tecnología barata y fácil de implementar en aplicaciones de IoT.

Con el desarrollo de los casos prácticos planteados, se validan dos modelos de soluciones tanto desde un punto de vista tecnológico, como del despliegue de servicio. Se demuestra la viabilidad del outsourcing como negocio al emplear plataformas en la nube para el análisis de los datos, un modelo de negocio actual que muestra de una forma clara y sencilla la información obtenida. De este modo, a través de dos tecnologías distintas se desarrollan soluciones que al final ofrecen una experiencia de uso muy similar al usuario.

5.1 LÍNEAS FUTURAS

Como líneas futuras se contempla la posibilidad de realizar una comparativa entre las distintas plataformas de gestión de servicios para el análisis de datos en la nube que mejore el rendimiento de las empleadas en este trabajo como Microsoft Azure y my Devices Cayenne junto con TTN.

Para continuar la línea de desarrollo práctico, se puede emplear otro tipo de tecnologías inalámbricas que permita la ejecución de una red con servicio en la nube aplicable a una solución de IoT.

Se ha iniciado una integración entre ambas plataformas mediante la conexión desde TTN hacia Microsoft Azure. A través de la configuración en la plataforma TTN dónde se introducen las claves de acceso del IoT Hub, se puede transmitir la información de un dispositivo LoRa hacia la plataforma de Microsoft Azure. De este modo, se deja abierta la posibilidad de continuar con la realización de un informe conjunto de datos en las herramientas de Power Bi y Power Apps donde se pueda comparar la información de ambos dispositivos de tecnologías diferentes de una manera más rápida y accesible.

Los dispositivos IoT exponen enormes cantidades de datos y a medida que van aumentando las conexiones entre dispositivos, se debe aumentar la seguridad. Por ello, la autenticación y la estandarización en cada uno de los elementos IoT son aspectos esenciales para una adopción generalizada. Se está experimentando con el uso de blockchain en los mercados de datos donde se analiza la fiabilidad de los mismos, la reputación de los datos y también la influencia que pueden tener en los ayuntamientos y usuarios. El estudio de cómo integra dicha seguridad los dispositivos en las tecnologías inalámbricas nombradas sería otra línea futura de desarrollo.

6 BIBLIOGRAFÍA

[Azure-microsoft. 2019]. Microsoft Azure. *Invente con un objetivo*. [Consulta 22 septiembre 2019]. Disponible en: <https://azure.microsoft.com/es-es/>

[Boyd Cohen. 2016]. FastCompany. *The 3 Generations Of Smart Cities*. [Consulta 4 septiembre 2019]. Disponible en: <https://www.fastcompany.com/3047795/the-3-generations-of-smart-cities>

[Bruno Cedón. 2017]. Bruno Cedón Pensamientos y tecnología. *Las redes más usadas en el IoT*. [Consulta 22 agosto 2019]. Disponible en: <http://www.bcendon.com/las-redes-mas-usadas-en-el-iot/>

[Cayenne.mydevices. 2019]. Simplifying the Creation of IoT. [Consulta 22 septiembre 2019]. Disponible en: <https://cayenne.mydevices.com/cayenne/signup>

[Constanza Martínez Gaete. 2013]. Plataforma Urbana. *Nuevas estimaciones de la ONU para la población mundial en 2100*. [Consulta 22 agosto 2019]. Disponible en: <http://www.plataformaurbana.cl/archive/2013/07/01/nuevas-estimaciones-de-la-onu-para-la-poblacion-mundial-en-2100/>

[Daghan Acay. 2016]. Lora en cinco preguntas. [Consulta 22 agosto 2019]. Disponible en: <https://daghanacay.github.io/iot/2016/11/15/TTNFaq.html>

[Efor. 2017]. Efor internet y tecnología, *Estudio técnico Tecnologías de comunicación para el IoT*. [Consulta 27 agosto 2019]. Disponible en: <https://www.efor.es/sites/default/files/tecnologias-de-comunicacion-para-iot.pdf>

[Esmartcity. 2015]. Esmartcity. *Fiware: Una plataforma abierta y estándar para Ciudades Inteligentes*. [Consulta 28 agosto 2019]. Disponible en: <https://www.esmartcity.es/comunicaciones/i-congreso-ciudades-inteligentes-fiware>

[Esmartcity. 2019]. Ciudades inteligentes, *La primera red nacional LoRaWAN se llama Redexia y se centrará en el despliegue de la tecnología IoT*. [Consulta 22 septiembre 2019]. Disponible en: <https://www.esmartcity.es/2019/02/06/primera-red-nacional-lorawan-se-llama-redexia-permitira-se-centrara-despliegue-tecnologia-iot>

[Fiware. 2019]. FIWARE. [Consulta 28 agosto 2019]. Disponible en: <https://www.fiware.org>

[IESE Cities. 2019]. IESE Business School University of Navarra, *IESE Cities in Motion Index*. [Consulta 27 agosto 2019]. Disponible en: <https://media.iese.edu/research/pdfs/ST-0509-E.pdf>

[Juan F. Samaniego. 2018]. Hablemos de empresas. *Cuando smart city es igual a smart money: casos de éxito*. [Consulta 28 agosto 2019]. Disponible en: <https://hablemosdeempresas.com/grandes-empresas/smart-city-es-igual-a-smart-money/>

[Juan Ramón, Martino Maggio, Roberto Di Bernardo, Pablo Ssotres, Luis Sánchez, Luis Muñoz. 2018]. On the Use of Information and Infrastructure Technologies for the Smart City Research in Europe: A Survey. [Consulta 28 agosto 2019]. Disponible en: <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/15259>

[Kais Mekki, Eddy Bajic, Frederic Chaxel, Fernand Meyer. 2018]. ScienceDirect. *Un estudio comparativo de las tecnologías LPWAN para la implementación de IoT a gran escala*. [Consulta 27 agosto 2019]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405959517302953?via%3Dihub>

[Lora. 2019]. LoRa Alliance. [Consulta 6 septiembre 2019]. Disponible en: <https://loralliance.org/>

[Lora-developers. 2019]. DEVELOPER PORTAL. *Guides*. [Consulta 22 septiembre 2019]. Disponible en: <https://lora-developers.semtech.com/library/guides/>

[Mecatronicalatam. 2018]. Sensor ¿Qué es y tipos de sensores?. [Consulta 20 septiembre 2019]. Disponible en: <https://www.mecatronicalatam.com/tutorial/es/sensores>

[Mfbarcell. 2019]. Wireless Sensor Network. [Consulta 26 agosto 2019]. Disponible en: <http://www.mfbarcell.es/conferencias/wsn.pdf>

[Microsoft.github. 2019]. IoT DevKit. *Get started*. [Consulta 10 septiembre 2019]. Disponible en: <https://microsoft.github.io/azure-iot-developer-kit/docs/get-started/>

[Mitigación. 2018]. Factor C02. *La inversión europea en tecnologías para Smart Cities*. [Consulta 28 agosto 2019]. Disponible en: <https://www.factorco2.com/es/la-inversion-europea-en-tecnologias-para-smart-cities-podria-alcanzar-los-31000-millones-de-dolares-en-2021/noticia/3320>

[Mxchip. 2019]. AZ3166. [Consulta 10 septiembre 2019]. Disponible en: <https://en.mxchip.com/az3166>

[Oascities. 2019]. *Open & Agil Smart Ciies*. [Consulta 28 agosto 2019]. Disponible en: <https://oascities.org/>

[Openstack. 2019]. OpenStack cloud operating system. *Open source software for creating private and public clouds*. [Consulta 28 agosto 2019]. Disponible en: <https://www.openstack.org/>

[Organicity. 2019]. *Organicity*. [Consulta 29 agosto 2019]. Disponible en: <http://organicity.eu/>

[Osiberia. 2018]. OpenSource Iberia. *¿Qué es una red IOT (LPWAN)?* [Consulta 23 agosto 2019]. Disponible en: <https://osiberia.org/que-es-una-red-iot-lpwan/>

[Powerapps. 2019]. Aplicaciones que significan negocio. [Consulta 22 septiembre 2019]. Disponible en: <https://powerapps.microsoft.com/es-es/>

[Powerbi. 2019]. Inteligencia empresarial sin precedentes. [Consulta 22 septiembre 2019]. Disponible en: <https://powerbi.microsoft.com/es-es/>

[Red. 2019]. Ciudades e islas inteligentes, *Plan Nacional de Ciudades Inteligentes*. [Consulta 22 agosto 2019]. Disponible en: <https://www.red.es>

[Samuel Fernández. 2019]. Xatakamovil. *Qué son las redes LPWA, el gran canal paralelo al 5G para dispositivos conectados*. [Consulta 22 septiembre 2019]. Disponible en: <https://www.xatakamovil.com/conectividad/que-redes-lpwa-gran-canal-paralelo-al-5g-para-dispositivos-conectados>

[Santander. 2018]. Santander Ciudad. *Santander, una de las primeras 11 ciudades en sumarse al programa Front Runner Smart Cities*. [Consulta 29 agosto 2019]. Disponible en: <https://santander.es/noticia/santander-primeras-11-ciudades-sumarse-programa-front-runner-smart-cities>

[Siemens. 2019. SmartStart], *Modeling private sector finance adoption for SmartStart cities*. [Consulta 26 agosto 2019]. Disponible en: <https://new.siemens.com/global/en/products/financing/whitepapers/whitepaper-smartstart.html>

[Sigfox. 2019. Sigfox], a 0G Network. [Consulta 6 septiembre 2019]. Disponible en: <https://www.sigfox.com/en>

[Synchronicity-iot. 2019]. *Synchronicity y una ciudad europea para todos*. [Consulta 29 agosto 2019]. Disponible en: <https://synchronicity-iot.eu/>

[Thethingsnetwork. 2019]. Building a global open LoRaWAN™ network. [Consulta 22 septiembre 2019]. Disponible en: <https://www.thethingsnetwork.org/>

[Wireless-solutions. 2019]. Mote II - Long Range Radio. [Consulta 22 septiembre 2019]. Disponible en: <https://wireless-solutions.de/products/long-range-radio/mote-ii.html>